¿Cómo promover el interés por la cultura científica?

Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años

UNESCO
Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe

Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible

¿CÓMO PROMOVER EL INTERÉS POR LA CULTURA CIENTÍFICA?

UNA PROPUESTA DIDÁCTICA FUNDAMENTADA PARA LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA DE JÓVENES DE 15 A 18 AÑOS

Oficina Regional de Educación
para América Latina y el Caribe
OREALC/UNESCO – Santiago

Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible

Editores:
Daniel Gil Pérez
Universitat de València. España

Beatriz Macedo
OREALC/UNESCO–Santiago. Chile

Joaquín Martínez Torregrosa
Universidad de Alicante. España

Carlos Sifredo
Ministerio de Educación. Cuba

Pablo Valdés
Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Cuba

Amparo Vilches
Universitat de València. España

Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible declarada por Naciones Unidas (2005-2014)

Se puede reproducir y traducir total y parcialmente el texto publicado siempre que se indique la fuente.

Los autores son responsables por la selección y presentación de los hechos contenidos en esta publicación, así como de las opiniones expresadas en ella, las que no son, necesariamente, las de la UNESCO y no comprometen a la Organización.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no implican, de parte de la UNESCO, ninguna toma de posición respecto al estatuto jurídico de los países, ciudades, territorios o zonas, o de sus autoridades, ni respecto al trazado de sus fronteras o límites.

Publicado por la Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe
OREALC/UNESCO Santiago

Diseño: Marcela Veas

ISBN: 956-8302-37-9

Impreso en Chile por Andros Impresores
Santiago, Chile, enero 2005

ÍNDICE

PRÓLOGO **5**

PRESENTACIÓN **7**
¿CUÁLES SON LOS PROPÓSITOS DE ESTE LIBRO?7

PRIMERA PARTE **13**
¿POR QUÉ ES NECESARIA UNA RENOVACIÓN DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA?

Capítulo 1 **15**
¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad actual?

Capítulo 2 **29**
¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos?

SEGUNDA PARTE **63**
¿CÓMO CONVERTIR EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS EN UNA ACTIVIDAD APASIONANTE?

Capítulo 3 **67**
¿Cómo empezar?

Capítulo 4 **81**
¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica?

Capítulo 5 **103**
¿Cómo convertir los problemas de lápiz y papel en auténticos desafíos de interés?

Capítulo 6 **123**
¿Cómo hacer posible el aprendizaje significativo de conceptos y teorías?

Capítulo 7 **141**
¿Qué hacer antes de finalizar?

Capítulo 8 **159**
¿Para qué y cómo evaluar?

TERCERA PARTE **183**
¿CÓMO PONER EN PRÁCTICA EL MODELO DE APRENDIZAJE COMO INVESTIGACIÓN?

Capítulo 9 **185**
¿Cómo diseñar los contenidos de un tema o de un curso?

Capítulo 10 **197**
¿Cómo profundizar en el estudio de los cambios que ocurren a nuestro alrededor?

Capítulo 11 **219**
¿Qué problemas plantean la obtención y el consumo de recursos energéticos?

Capítulo 12 **243**
Tierra y cielos: ¿Dos universos separados?

Capítulo 13 **269**
¿Cómo explicar la gran diversidad de materiales y sus transformaciones?

Capítulo 14 **297**
¿Qué desafíos tiene planteados hoy la humanidad?

CUARTA PARTE **327**
OTRAS VOCES

¿Cómo enfrentarse al problema de la resistencia en las plagas? El cambio biológico 329

Captando Información 355

¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad actual? 393

¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? 397

¿Cómo empezar? 401

¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica? 405

¿Cómo convertir los problemas de lápiz y papel en auténticos desafíos de interés? 411

¿Cómo hacer posible el aprendizaje significativo de conceptos y teorías? 415

¿Qué hacer antes de finalizar? 417

¿Para qué y cómo evaluar? 419

¿Cómo diseñar los contenidos de un tema o de un curso? 423

¿Cómo profundizar en el estudio de los cambios que ocurren a nuestro alrededor? 425

¿Qué problemas plantean la obtención y el consumo de recursos energéticos? 429

Tierra y cielos: ¿Dos universos separados? 433

¿Cómo explicar la gran diversidad de materiales y sus transformaciones? 437

¿Qué desafíos tiene planteados hoy la humanidad? Educación para el desarrollo sostenible 443

QUINTA PARTE **447**
PERSPECTIVAS

Expresiones clave en el conjunto del libro 449

Direcciones de contacto de los autores 455

Referencias bibliográficas incluídas en el libro 459

Prólogo

El Proyecto Regional de Educación para América Latina y el Caribe (PRELAC), aprobado en la Reunión de Ministros de Educación en La Habana (Cuba) en noviembre de 2002, pone énfasis en cinco focos estratégicos, uno de los cuales subraya la importancia de los docentes y del fortalecimiento de su protagonismo en el cambio educativo para que respondan a las necesidades de aprendizaje de los alumnos.

Asimismo, se plantea la necesidad de resituar la enseñanza de las ciencias de manera de asegurar una formación científica de calidad, orientada al desarrollo sostenible, en el marco de una Educación para Todos. Esto será solamente una carta de intenciones si no se cuenta con docentes bien preparados para ser los verdaderos protagonistas de los cambios educativos.

En este marco, la Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe ha venido desarrollando un intenso trabajo en torno a la enseñanza de las ciencias. Eso ha permitido, por un lado, conocer las fortalezas y las necesidades en cuanto a este tema y, por otro, crear un clima de cooperación, intercambio fluido y confianza para el trabajo conjunto entre la UNESCO, los Estados miembros, las universidades y los docentes.

Nuestra región presenta una situación en la cual no sólo se da una gran inequidad en la adquisición de los conocimientos en general, sino que la mayoría de los alumnos no son atraídos por las clases de ciencias, las encuentran difíciles y pierden interés.

Si estamos convencidos del necesario aporte de la educación científica a la formación ciudadana, esta situación debe ser revertida con rapidez. Por este motivo, la Oficina Regional de la UNESCO ha creado la Red de Educación Científica, que se visualiza como una fase de intercambio, de producción de conocimientos y de diálogo abierto y permanente. Creemos que a partir de un trabajo conjunto y colectivo se puede contribuir a cambiar la realidad de la enseñanza de las ciencias en la educación básica y secundaria en la región.

Con el propósito de promover la discusión y la reflexión, nos parece importante poner a disposición de los docentes, de los formadores de docentes e investigadores, distintos tipos de documentos que ayuden a analizar las prácticas cotidianas en el aula y faciliten la construcción de nuevas maneras de enseñar ciencias.

Es con gran interés que les entregamos la publicación ***"¿Cómo promover el interés por la cultura científica?"*** –como una aportación a las iniciativas de la Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014), promovida por las Naciones Unidas bajo el liderazgo de la UNESCO–, con el deseo de que se convierta en una herramienta útil para facilitar la reflexión y discusión acerca de las prácticas educativas cotidianas.

Ana Luiza Machado

Directora
Oficina Regional de Educación de la UNESCO
para América Latina y el Caribe
OREALC/UNESCO Santiago

PRESENTACIÓN

¿CUÁLES SON LOS PROPÓSITOS DE ESTE LIBRO?

Beatriz Macedo

El libro que presentamos responde a una iniciativa conjunta de la Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe (OREALC/UNESCO Santiago), de los grupos de investigación en didáctica de las ciencias de las universidades de Valencia y Alicante, en España, y del IPLAC (Instituto Pedagógico Latinoamericano y Caribeño, con sede en La Habana), con el fin de incidir en el problema que supone el escaso interés que las materias científicas generan en los adolescentes durante su educación secundaria (y la consecuente falta de candidatos para estudios científicos superiores) y de contribuir a las iniciativas de la ***Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible*** (2005-2014), promovida por Naciones Unidas.

La falta de interés, e incluso rechazo hacia el estudio de las ciencias, asociado al fracaso escolar de un elevado porcentaje de estudiantes, constituye un problema que reviste una especial gravedad, tanto en el área iberoamericana como en el conjunto de países desarrollados. Un problema que merece una atención prioritaria porque, como se señaló en la Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el siglo XXI, auspiciada por la UNESCO y el Consejo Internacional para la Ciencia, "para que un país esté en condiciones de atender a las necesidades fundamentales de su población, la enseñanza de las ciencias y la tecnología es un imperativo estratégico" (Declaración de Budapest, 1999).

Este fracaso escolar es producto, en buena medida, de discriminaciones iniciales de origen étnico, social, de género... y se traduce, a su vez, en mayor inequidad e injusticia, entre países y entre grupos sociales, con la existencia y permanencia de grupos excluidos del conocimiento científico y del uso de sus beneficios. Cambiar la realidad de la educación científica es una exigencia que no responde sólo a la preocupación –legítima, pero a nuestro juicio insuficiente– de que los estudiantes no aprenden ciencias y llegan a los estudios superiores con muy mala base. Los esfuerzos por asegurar que todos y todas accedan al conocimiento científico deben responder también al compromiso ético de contribuir a disminuir las desigualdades, poner fin a la exclusión, terminar con el monopolio del conocimiento asociado a la concentración del poder y posibilitar –a través de la educación y de la educación científica en particular– que todos y cada uno desarrollen al

máximo sus potencialidades. Una educación concebida como experiencia global, a lo largo toda la vida (Delors, 1996), que favorezca el progreso de todas las personas y de las generaciones futuras hacia sociedades en paz, cada vez más justas, democráticas y sostenibles (Mayor Zaragoza, 2000).

Hemos comprometido para esta tarea a un amplio equipo de investigadores en el campo de la didáctica de las ciencias, en los que se reúnen las condiciones de dilatada dedicación al estudio de los problemas de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y de estrecha colaboración, a través, en particular, de su vinculación a la Cátedra UNESCO-IPLAC.

Esta dimensión colectiva –que constituye la primera característica a destacar del libro que presentamos– se ve reforzada con una sección que hemos denominado "*Otras voces*", que pretende ofrecer pistas para enfoques complementarios o alternativos. Y a todo ello hay que añadir la toma en consideración de los estudios realizados por numerosos equipos para hacer frente a la grave situación actual. Estudios recogidos en numerosas revistas específicas, libros y handbooks que sintetizan las adquisiciones consensuadas por la comunidad científica (Gabel, 1994; Fraser y Tobin, 1998), que los autores han tenido presentes en la confección de este libro para fundamentar sus propuestas.

Otra característica fundamental de este texto es que está concebido como un "***libro-taller***". Es decir, está concebido para *implicar* al lector o lectora en el estudio de los problemas que plantean el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias y en la construcción de soluciones a dichos problemas. Con ello no queremos decir que se pretenda colocar a los lectores en situación de elaborar individualmente sus propias respuestas ignorando el cuerpo de conocimientos que la abundante investigación e innovación han elaborado y que constituye un acervo imprescindible para seguir avanzando en la mejora de la educación científica. Pero sí supone el reconocimiento de un hecho fundamental que la investigación educativa ha establecido, tanto en relación al aprendizaje de los estudiantes como en la formación del profesorado: *el pleno aprovechamiento de un cuerpo de conocimientos exige que responda a problemas que quienes aprenden hayan tenido ocasión de plantearse*.

Por esta razón, los autores promueven la participación de los lectores en la construcción *tentativa* de conocimientos, que pueden cotejarse seguidamente con las tesis y propuestas de la comunidad científica, recogidas en el libro.

Para intentar aproximar el uso de este libro a dicha orientación, el lector o lectora se encontrará, en cada capítulo, con una enumeración inicial de las ***cuestiones*** centrales que se plantean en el mismo –teniendo así en cuenta que, como señala Bachelard (1938), "todo conocimiento es la respuesta a una cuestión"– y con ***"propuestas de trabajo"*** que reclaman su participación. Ello convierte la lectura, como ya hemos señalado, en una aproximación a la participación en un taller, estructurado en torno a los problemas que el proceso de enseñanza/aprendizaje plantea, lejos de la simple e inefectiva transmisión/recepción de conocimientos.

Esta orientación del aprendizaje y de la formación del profesorado viene apoyada por una abundante investigación (Briscoe, 1991; Gil-Pérez et al., 1991; Jiménez Aleixandre, 1996; Bell, 1998) en la que los propios autores han participado y que ha mostrado la escasa efectividad de transmitir propuestas ya elaboradas, por muy fundamentadas que estén, para su simple aplicación. Es preciso, por el contrario, que los profesores participemos, en alguna medida, en el estudio y tratamiento de los problemas y en la construcción de los conocimientos y propuestas que puedan contribuir a su solución.

Esta participación no sólo redundará en una mejor comprensión de dichos conocimientos y propuestas, por responder a problemas que los lectores han podido plantearse, sino que hará también posible una lectura crítica de los mismos, lejos de aceptaciones simplistas. Se incluyen por ello numerosas referencias a la abundante literatura existente, tanto para dejar patente las fuentes utilizadas como para facilitar el acceso a las aportaciones de otros autores con orientaciones y puntos de vista diversos.

Por otra parte, hemos de precisar que los análisis y propuestas recogidos en el libro, aunque tienen una validez general para la educación científica en cualquiera de sus niveles, se centran en la secundaria superior (15 a 18 años). Se ha elegido esta etapa porque es en esas edades cuando empieza a ser posible adquirir una formación científica de una cierta entidad y cuando quienes van a proseguir estudios superiores han de optar por una u otra rama del conocimiento. Y, como ya hemos señalado, estamos asistiendo desde hace años a una grave situación de fracaso en la educación científica y disminución de candidatos para estudios superiores en el campo de las ciencias, al tiempo que crece el desinterés, cuando no el rechazo, hacia la propia ciencia (Penick y Yager, 1986; Simpson y Oliver, 1990; Fraser, 1994; Simpson et al., 1994; Furió y Vilches, 1997; Solbes y Vilches, 1997; Perales y Cañal, 2000). Una situación sobre la que es absolutamente preciso actuar, para superar dicho rechazo y hacer comprender el carácter de aventura apasionante, de tarea abierta y creativa, de la ciencia y de la educación científica.

Se destina por ello una **primera parte** a mostrar el carácter de objetivo social prioritario de la educación científica. Incluye un estudio sobre la *importancia de la educación científica en la sociedad actual* (capítulo 1) y un análisis de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología transmitidas por la propia enseñanza y que están contribuyendo a las actitudes de rechazo (capítulo 2). Este análisis muestra la necesidad de una reorientación de las estrategias educativas esbozando un nuevo modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés.

En la **segunda parte** se desarrolla el modelo esbozado, contemplando el conjunto de actividades básicas del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, que incluye *cómo empezar* (capítulo 3), *el trabajo experimental* (capítulo 4*), la resolución de problemas de lápiz y papel* (capítulo 5), *el aprendizaje significativo de conceptos y teorías* (capítulo 6) y la actividad fundamental –pero a la que no se suele prestar suficiente atención– de *la recapitulación y consideración de las perspectivas abiertas* (capítulo 7). Y se concede una atención muy particular al *papel de la evaluación* (capítulo 8).

Podría pensarse que entre estos aspectos clave deberían haberse incluido otros, como, en particular, un capítulo destinado a abordar las relaciones ciencia-tecnología-sociedad (CTS), y otro a las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC), por el papel que se atribuye a ambos aspectos en la renovación de la educación científica para el siglo XXI. Por lo que se refiere a las relaciones CTS o, como prefieren escribir los autores, CTSA (añadiendo la A de ambiente, para destacar explícitamente las repercusiones en el medio ambiente del desarrollo científico-tecnológico), los lectores podrán apreciar que esta dimensión impregna todo el libro y se aborda con particular atención en los capítulos 2, 3 y 7. Esto mismo sucede con los denominados aspectos afectivos o axiológicos del aprendizaje, como los relativos a las actitudes y valores, o al clima del aula y del centro, etc., que son tenidos en cuenta desde el primer capítulo del libro, como una componente esencial de la educación científica. En cuanto a las TIC, el equipo responsable de la propuesta didáctica que estamos presentando reconoce que la *utilización* de las nuevas tecnologías en la enseñanza está plenamente justificada y hace referencia a las

mismas en algunos capítulos y muy en particular en el dedicado a los trabajos prácticos; pero considera necesario, sin embargo, llamar la atención contra visiones simplistas que ven en el uso de las nuevas tecnologías el fundamento de la renovación de los procesos de enseñanza/aprendizaje. Su punto de vista acerca de esta importante cuestión aparece desarrollado en la introducción a esta segunda parte del libro.

La **tercera parte** está destinada a presentar una serie de ejemplos ilustrativos de temas desarrollados según el nuevo modelo, con objeto de que las propuestas fundamentadas en la segunda parte puedan ser analizadas en su aplicación concreta. Se incluyen para ello cinco *programas de actividades* (capítulos 10 al 14), en los que las actividades propuestas vienen acompañadas de comentarios sobre sus finalidades, resultados que se obtienen en el aula, etc. Estos ejemplos vienen precedidos por una propuesta de *orientaciones para el diseño de un temario* (capítulo 9). El último de los programas de actividades, en particular, constituye una contribución centrada en la *Educación para el Desarrollo Sostenible*, respondiendo así al llamamiento de Naciones Unidas para impulsar una década con esa finalidad.

En la **cuarta parte** incluimos la sección *Otras voces,* en la que se recogen otros dos ejemplos de *programas de actividades*, así como comentarios a cada uno de los capítulos del libro, elaborados por colegas de otros equipos con una amplia experiencia en investigación e innovación en educación científica.

El libro se completa con una **quinta parte** de *perspectivas,* destinada a facilitar su manejo como instrumento de trabajo, que comprende:

- Un índice de expresiones clave, con indicación de los capítulos en los que aparecen.
- La relación de los autores con sus direcciones de contacto.
- Una relación de referencias bibliográficas, que engloba las incluidas en cada capítulo, con indicación de los capítulos donde aparecen.

Nos es grato, pues, poner a la disposición de los docentes este libro de didáctica de las ciencias, con la esperanza de que contribuya, en alguna medida, a enriquecer el trabajo colectivo que realizan y suscitar el deseo y la voluntad de buscar, de innovar... y de seguir buscando, ya que sólo así estaremos preparados para contribuir a un pleno y satisfactorio desarrollo de nuestros alumnos y alumnas, últimos destinatarios de todos estos esfuerzos.

Referencias bibliográficas en esta presentación

BELL, B. (1998). Teacher development in Science Education. En Fraser B.J. y Tobin K.G. (Eds.), *International Handbook of Science Education.* London: Kluwer Academic Publishers.

BRISCOE, C. (1991). The dynamic interactions among beliefs, role metaphors and teaching practices. A case study of teacher change, *Science Education*, 75(2), 185-199.

DECLARACIÓN DE BUDAPEST (1999). *Marco general de acción de la declaración de Budapes*t, http://www.oei.org.co/cts/budapest.dec.htm.

DELORS, J. (Coord.) (1996). *La educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la educación para el siglo XX*I. Madrid: Santillana. Ediciones UNESCO.

FRASER, B. J. (1994). Research on classroom and school climate. En Gabel, D. L. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* N.Y.: McMillan Pub Co.

FRASER, B. y TOBIN, K. G. (Eds.) (1998). *International Handbook of Science Education* London: Kluwer Academic Publishers.

FURIÓ, C. y VILCHES, A. (1997). Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad. En Del Carmen, L. (Coord.), *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria.* 47-71. Barcelona: Horsori.

GABEL, D. L. (Ed.) (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* N.Y.: McMillan Pub Co.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍTNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1996). *Dubidar para aprender*. Vigo: Edicións Xerais de Galicia.

MAYOR ZARAGOZA, F. (2000). *Un mundo nuevo.* Barcelona: UNESCO. Círculo de Lectores.

PENICK, J. E. y YAGER, R. E. (1986). Trends in science education: some observations of exemplary programs in the United States. *European Journal of Science Education*, 8(1), 1-9.

PERALES, F. J. y CAÑAL, P. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

SIMPSON, R. D., KOBALA, T. R., OLIVER, J. S. y CRAWLEY, F. E. (1994). Research on the affective dimension of science learning. En Gabel, D. L. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* N.Y.: McMillan Pub Co.

SIMPSON, R. D. y OLIVER, S. (1990). A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students. *Science Education*, 74(1), 1-18.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.

PRIMERA PARTE

¿POR QUÉ ES NECESARIA UNA RENOVACIÓN DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA?

Tal como hemos señalado en la presentación, dedicaremos esta primera parte, que consta de dos capítulos, a mostrar el carácter de objetivo social prioritario de la educación científica. En el capítulo 1 se discute la importancia de la educación científica en la sociedad actual, tanto para la preparación de futuros científicos como por su papel esencial en la formación ciudadana. En el capítulo 2 se analizan las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología transmitidas por la propia enseñanza, que están contribuyendo al fracaso escolar, a las actitudes de rechazo y, consecuentemente, a una grave carencia de candidatos para estudios científicos superiores. Este análisis muestra la necesidad de una reorientación de las estrategias educativas y conduce al esbozo de un modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés.

Éstos son, pues, los capítulos que conforman esta primera parte:

Capítulo 1. *¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad?*

Capítulo 2. *¿Qué visiones de la actividad científica tenemos y transmitimos?*

Capítulo 1

¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad actual?

Daniel Gil Pérez, Carlos Sifredo, Pablo Valdés y Amparo Vilches

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Qué razones pueden avalar la necesidad de una educación científica para todos los ciudadanos y ciudadanas?
- ¿Qué entender por alfabetización científica? ¿Qué añade dicha expresión a la de educación científica?
- ¿Es posible proporcionar a la generalidad de la ciudadanía una formación científica que resulte realmente útil?
- ¿Puede una formación científica general, no especializada, contribuir a hacer posible la participación de las ciudadanas y ciudadanos en la toma fundamentada de decisiones en torno a los problemas a los que debe enfrentarse la humanidad?
- Si se orienta la educación científica para lograr una alfabetización básica de la ciudadanía, ¿no se perjudicará la preparación de los futuros científicos que nuestras sociedades precisan?

EXPRESIONES CLAVE

Alfabetización científica y tecnológica; ciencia como parte de la cultura; inmersión en una cultura científica; interés hacia la ciencia y su aprendizaje; participación ciudadana en la toma de decisiones; relaciones ciencia-tecnología-sociedad (CTS).

INTRODUCCIÓN

Cualquier intento de mejora fundamentada de la educación científica ha de comenzar considerando a quién y por qué proporcionar una educación científica. Son cuestiones como éstas las que nos proponemos abordar y plantear a los lectores en este capítulo.

Sugerimos, pues, comenzar reflexionando acerca de la necesidad, o no, de una educación científica como elemento básico de la formación ciudadana:

Propuesta de trabajo

¿Qué razones pueden avalar la necesidad de una educación científica para todos los ciudadanos y ciudadanas?

Las propuestas actuales a favor de una *alfabetización científica* para todos los ciudadanos y ciudadanas van más allá de la tradicional importancia concedida –más verbal que real– a la educación científica y tecnológica, para hacer posible el desarrollo futuro. Esa educación científica se ha convertido, en opinión de los expertos, en una exigencia urgente, en un factor esencial del desarrollo de las personas y de los pueblos, también a corto plazo.

Así se afirma, por ejemplo, en los National Science Education Standards, auspiciados por el National Research Council (1996), en cuya primera página podemos leer: "En un mundo repleto de productos de la indagación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos: todos necesitamos utilizar la información científica para realizar opciones que se plantean cada día; todos necesitamos ser capaces de implicarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología; y todos merecemos compartir la emoción y la realización personal que puede producir la comprensión del mundo natural". No es extraño, por ello, que se haya llegado a establecer una analogía entre la alfabetización básica iniciada el siglo pasado y el actual movimiento de alfabetización científica y tecnológica (Fourez, 1997).

Más recientemente, en la Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el siglo XXI, auspiciada por la UNESCO y el Consejo Internacional para la Ciencia, se declaraba: "Para que un país esté en condiciones de atender a las necesidades fundamentales de su población, la enseñanza de las ciencias y la tecnología es un imperativo estratégico. Como parte de esa educación científica y tecnológica, los estudiantes deberían aprender a resolver problemas concretos y a atender a las necesidades de la sociedad, utilizando sus competencias y conocimientos científicos y tecnológicos". Y se añade: "Hoy más que nunca es necesario fomentar y difundir la alfabetización científica en todas las culturas y en todos los sectores de la sociedad, a fin de mejorar la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones relativas a la aplicación de los nuevos conocimientos" (Declaración de Budapest, 1999).

La importancia concedida a la alfabetización científica de todas las personas ha sido también puesta de manifiesto en gran número de investigaciones, publicaciones, congresos y encuentros que, bajo el lema de "Ciencia para Todos", se vienen realizando (Bybee y DeBoer, 1994; Bybee, 1997; Marco, 2000). De hecho, en numerosos países se están llevando a cabo reformas educativas que contemplan la alfabetización científica y tecnológica como una de sus principales finalidades.

El reconocimiento de esta creciente importancia concedida a la educación científica exige el estudio detenido de cómo lograr dicho objetivo y, muy en particularmente, de cuáles son los obstáculos que se oponen a su consecución. En efecto, la investigación en didáctica de las ciencias ha mostrado reiteradamente el grave fracaso escolar, así como la falta de interés e incluso rechazo que generan las materias científicas (Simpson et al., 1994; Giordan, 1997; Furió y Vilches, 1997).

Nos encontramos, pues, frente a un amplio reconocimiento de la necesidad de una ***alfabetización científica***, expresión, como hemos visto en los párrafos anteriores, ampliamente utilizada en la actualidad y en cuyo significado conviene detenerse.

¿QUÉ ENTENDER POR ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA?

En efecto, el concepto de alfabetización científica, hoy en boga, cuenta ya con una tradición que se remonta, al menos, a finales de los años cincuenta (DeBoer, 2000). Pero es, sin duda, durante la última década cuando esa expresión ha adquirido categoría de eslogan amplia y repetidamente utilizado por los investigadores, diseñadores de currículos y profesores de ciencias (Bybee, 1997). Ello debe saludarse, resalta Bybee, como expresión de un amplio movimiento educativo que se reconoce y moviliza tras el símbolo "alfabetización científica". Pero comporta, al propio tiempo, el peligro de una ambigüedad que permite a cada cual atribuirle distintos significados y explica las dificultades para lograr un consenso acerca de hacia dónde y cómo avanzar en su consecución.

De hecho, desde 1995, revistas como el *Journal of Research in Science Teaching* han publicado editoriales con llamamientos para la realización de contribuciones que permitan plantear propuestas coherentes en este campo de investigación e innovación educativas.

Propuesta de trabajo

¿Por qué hablar de alfabetización científica? ¿Qué añade dicha expresión a la de educación científica?

Bybee sugiere acercarse al concepto aceptando su carácter de metáfora. Ello permite, de entrada, rechazar la simplificación inapropiada del concepto a su significado literal: una alfabetización científica, aunque ha de incluir el manejo del vocabulario científico, no debe limitarse a esa definición funcional. Concebir la alfabetización científica como una metáfora permite, pues, enriquecer el contenido que damos a los términos. Y obliga, al mismo tiempo, a su clarificación.

Podemos señalar, por ejemplo, que la idea de *alfabetización* sugiere unos objetivos básicos para *todos* los estudiantes, que convierten a la educación científica en parte de una educación general. El desarrollo de cualquier programa de educación científica, indica Bybee, debiera comenzar con propósitos correspondientes a una educación general. Más aún, hablar de alfabetización científica, de ciencia para todos, supone pensar en un mismo currículo básico para todos los estudiantes, como proponen, por ejemplo, los National Science Curriculum Standards (National Research Council, 1996) y requiere estrategias que eviten las repercusiones de las desigualdades sociales en el ámbito educativo (Bybee y DeBoer, 1994; Baker, 1998; Marchesi, 2000).

Pero, ¿cuál debería ser ese currículo científico básico para todos los ciudadanos? Marco (2000) señala ciertos elementos comunes en las diversas propuestas que ha generado este amplio movimiento de alfabetización científica:

- Alfabetización científica práctica, que permita utilizar los conocimientos en la vida diaria con el fin de mejorar las condiciones de vida, el conocimiento de nosotros mismos, etc.
- Alfabetización científica cívica, para que todas las personas puedan intervenir socialmente, con criterio científico, en decisiones políticas.
- Alfabetización científica cultural, relacionada con los niveles de la naturaleza de la ciencia, con el significado de la ciencia y la tecnología y su incidencia en la configuración social.

Por su parte, Reid y Hodson (1993) proponen que una educación dirigida hacia una cultura científica básica debería contener:

- Conocimientos de la ciencia –ciertos hechos, conceptos y teorías.
- Aplicaciones del conocimiento científico –el uso de dicho conocimiento en situaciones reales y simuladas.
- Habilidades y tácticas de la ciencia –familiarización con los procedimientos de la ciencia y el uso de aparatos e instrumentos.
- Resolución de problemas –aplicación de habilidades, tácticas y conocimientos científicos a investigaciones reales.
- Interacción con la tecnología –resolución de problemas prácticos, enfatización científica, estética, económica y social y aspectos utilitarios de las posibles soluciones.
- Cuestiones socio-económico-políticas y ético-morales en la ciencia y la tecnología.
- Historia y desarrollo de la ciencia y la tecnología.
- Estudio de la naturaleza de la ciencia y la práctica científica –consideraciones filosóficas y sociológicas centradas en los métodos científicos, el papel y estatus de la teoría científica y las actividades de la comunidad científica.

Para ir más allá de un manejo superficial del concepto de alfabetización científica, Bybee (1997) propone distinguir ciertos grados en la misma que denomina, respectivamente, "analfabetismo", alfabetización "nominal", "funcional", "conceptual y procedimental" y, por último, "multidimensional". Nos detendremos en el significado que da a esta última.

La alfabetización científico-tecnológica multidimensional, señala Bybee, "se extiende más allá del vocabulario, de los esquemas conceptuales y de los métodos procedimentales, para incluir otras dimensiones de la ciencia: debemos ayudar a los estudiantes a desarrollar perspectivas de la ciencia y la tecnología que incluyan la historia de las ideas científicas, la naturaleza de la ciencia y la tecnología y el papel de ambas en la vida personal y social. Éste es el nivel multidimensional de la alfabetización científica (…) Los estudiantes deberían alcanzar una cierta comprensión y apreciación global de la ciencia y la tecnología como empresas que han sido y continúan siendo *parte de la cultura*".

Podemos apreciar, pues, una convergencia básica de distintos autores en la necesidad de ir más allá de la habitual transmisión de conocimientos científicos, de incluir una aproximación a la naturaleza de la ciencia y a la práctica científica y, sobre todo, de poner

énfasis en las relaciones ciencia-tecnología-sociedad (CTS), con vistas a favorecer la participación ciudadana en la toma fundamentada de decisiones (Aikenhead, 1985).

Se trata de aspectos sobre los que tendremos oportunidad de profundizar a lo largo de los capítulos del libro. Antes es preciso detenerse en analizar la argumentación de algunos autores que han venido a poner en duda la conveniencia e incluso la posibilidad de que la generalidad de los ciudadanos y ciudadanas adquieran una formación científica realmente útil.

ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA: ¿NECESIDAD O MITO IRREALIZABLE?

La posibilidad y conveniencia de educar científicamente al conjunto de la población ha sido cuestionada por algunos autores (Atkin y Helms, 1993; Shamos, 1995; Fensham 2002a y 2002b), en trabajos bien documentados que pretenden "sacudir aparentes evidencias", como sería, en su opinión, la necesidad de alfabetizar científicamente a toda la población, algo que Shamos califica de auténtico mito en su libro *The Myth Of Scientific Literacy* (Shamos, 1995). Conviene, pues, prestar atención a los argumentos críticos de estos autores y analizar más cuidadosamente las razones que justifican las propuestas de "Ciencia para Todos".

Propuesta de trabajo

¿Es posible proporcionar a la generalidad de la ciudadanía una formación científica que resulte realmente útil?

En opinión de Fensham (2002b), el movimiento ciencia para todos y las primeras discusiones sobre la alfabetización científica se basaban en dos ideas preconcebidas. La primera, que denomina tesis *pragmática*, considera que, dado que las sociedades se ven cada vez más influidas por las ideas y productos de la ciencia y, sobre todo, de la tecnología, los futuros ciudadanos se desenvolverán mejor si adquieren una base de conocimientos científicos. La segunda, o tesis *democrática*, supone que la alfabetización científica permite a los ciudadanos participar en las decisiones que las sociedades deben adoptar en torno a problemas sociocientificos y sociotecnológicos cada vez más complejos.

Pero la tesis pragmática, afirma Fensham, no tiene en cuenta el hecho de que la mayoría de los productos tecnológicos están concebidos para que los usuarios no tengan ninguna necesidad de conocer los principios científicos en los que se basan para poder utilizarlos. Hay que reconocer que ésta es una crítica fundamentada: nadie puede desenvolverse hoy sin saber leer y escribir o sin dominar las operaciones matemáticas más simples, pero millones de ciudadanos, incluidas eminentes personalidades, en cualquier sociedad, reconocen su falta de conocimientos científicos, sin que ello haya limitado para nada su vida práctica. La analogía entre alfabetización básica y alfabetización científica, concluían ya por ello Atkin y Helms (1993), no se sostiene.

Por lo que respecta a la tesis democrática, pensar que una sociedad científicamente alfabetizada está en mejor situación para actuar racionalmente frente a los problemas socio-científicos, constituye, según Fensham, una ilusión que ignora la complejidad de

los conceptos científicos implicados, como sucede, por ejemplo, con el calentamiento global. Es absolutamente irrealista, añade, creer que este nivel de conocimientos pueda ser adquirido, ni siquiera en las mejores escuelas. Un hecho clarificador a ese respecto es el resultado de una encuesta financiada por la American Association for the Advancement of Sciences (AAAS), que consistió en pedir a un centenar de eminentes científicos de distintas disciplinas que enumeraran los conocimientos científicos que deberían impartirse en los años de escolarización obligatoria para garantizar una adecuada alfabetización científica de los niños y niñas norteamericanos. El número total de aspectos a cubrir, señala Fensham, desafía el entendimiento y resulta superior a la suma de todos los conocimientos actualmente impartidos a los estudiantes de élite que se preparan como futuros científicos.

Argumentos como éstos son los que llevan a autores como Shamos, Fensham, etc., a considerar la alfabetización científica como un mito irrealizable, causante, además, de un despilfarro de recursos. ¿Debemos, pues, renunciar a la idea de una educación científica básica para todos? No es ése nuestro planteamiento, pero críticas como las de Fensham obligan, a quienes concebimos la alfabetización científica como una componente esencial de las humanidades, a profundizar en las razones que recomiendan que la educación científica y tecnológica forme parte de una cultura general para toda la ciudadanía, sin darlo simplemente por sentado como algo obvio.

CONTRIBUCIÓN DE LA ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA A LA FORMACIÓN CIUDADANA

Nos proponemos en este apartado considerar con cierta atención qué puede realmente aportar la educación científica y tecnológica a la formación ciudadana.

Propuesta de trabajo

¿Puede una formación científica general, no especializada, hacer posible la participación de las ciudadanas y ciudadanos en la toma fundamentada de decisiones en torno a los problemas a los que debe enfrentarse la humanidad?

Como hemos señalado, numerosas investigaciones, proyectos educativos como los *National Science Education Standards* (National Research Council, 1996) y conferencias internacionales como la Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el siglo XXI (Declaración de Budapest, 1999), ponen el acento en la necesidad de una formación científica que permita a la ciudadanía *participar en la toma de decisiones*, en asuntos que se relacionan con la ciencia y la tecnología.

Este argumento "democrático" es, quizás, el más ampliamente utilizado por quienes reclaman la alfabetización científica y tecnológica como una componente básica de la educación ciudadana (Fourez, 1997; Bybee, 1997; DeBoer, 2000; Marco, 2000...). Y es también el que autores como Fensham (2002a y 2002b) cuestionan más directa y explícitamente, argumentando, como hemos visto, que el conocimiento científico, susceptible de orientar la toma de decisiones, exige una profundización que sólo es accesible a los especialistas. Analizaremos, pues, sus argumentos, que no son, en absoluto, triviales, y

que, en su opinión y en la de otros autores en quienes se apoyan, cuestionarían las propuestas de educación científica para todos.

Intentaremos mostrar, sin embargo, que esa *participación,* en la toma fundamentada de decisiones, precisa de los ciudadanos, más que un nivel de conocimientos muy elevado, la vinculación de *un mínimo* de conocimientos específicos, perfectamente accesible a la ciudadanía, con planteamientos globales y consideraciones éticas que no exigen especialización alguna. Más concretamente, intentaremos mostrar que la posesión de profundos conocimientos específicos, como los que tienen los especialistas en un campo determinado, no garantiza la adopción de decisiones adecuadas, sino que *se necesitan enfoques que contemplen los problemas en una perspectiva más amplia*, analizando las posibles repercusiones a medio y largo plazo, tanto en el campo considerado como en otros. Y eso es algo a lo que pueden *contribuir* personas que no sean especialistas, con perspectivas e intereses más amplios, siempre que posean un mínimo de conocimientos científicos específicos sobre la problemática estudiada, sin los cuales resulta imposible comprender las opciones en juego y *participar* en la adopción de decisiones fundamentadas. Esperamos responder, de este modo, a los argumentos de quienes consideran la alfabetización científica del conjunto de la ciudadanía un mito irrealizable y, por tanto, sin verdadero interés.

Analizaremos para ello, como ejemplo paradigmático, el problema creado por los fertilizantes químicos y pesticidas que, a partir de la Segunda Guerra Mundial, produjeron una verdadera revolución agrícola, incrementando notablemente la producción. Recordemos que la utilización de productos de síntesis para combatir los insectos, plagas, malezas y hongos aumentó la productividad en un período en el que un notable crecimiento de la población mundial lo exigía. Y recordemos igualmente que, algunos años después, la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988) advertía que su exceso constituye una amenaza para la salud humana, provocando desde malformaciones congénitas hasta cáncer, y siendo auténticos venenos para peces, mamíferos y pájaros. Por ello dichas sustancias, que se acumulan en los tejidos de los seres vivos, han llegado a ser denominadas, junto con otras igualmente tóxicas, "Contaminantes Orgánicos Persistentes" (COP).

Este envenenamiento del planeta por los productos químicos de síntesis, y en particular por el DDT, ya había sido denunciado a finales de los años cincuenta por Rachel Carson (1980) en su libro *Primavera silenciosa* (título que hace referencia a la desaparición de los pájaros), en el que daba abundantes y contrastadas pruebas de los efectos nocivos del DDT, lo que no impidió que fuera violentamente criticada y sufriera un acoso muy duro por parte de la industria química, los políticos *y numerosos científicos*, que negaron valor a sus pruebas y le acusaron de estar contra un progreso que permitía dar de comer a una población creciente y salvar así muchas vidas humanas. Sin embargo, apenas diez años más tarde se reconoció que el DDT era realmente un peligroso veneno y se prohibió su utilización en el mundo rico, aunque, desgraciadamente, se siguió utilizando en los países en desarrollo.

Lo que nos interesa destacar aquí es que la batalla contra el DDT fue dada por científicos como Rachel Carson *en confluencia con grupos ciudadanos* que fueron sensibles a sus llamadas de atención y argumentos. De hecho, Rachel Carson es hoy recordada como "madre del movimiento ecologista", por la enorme influencia que tuvo su libro en el surgimiento de grupos activistas que reivindicaban la necesidad de la protección del medio ambiente, así como en los orígenes del denominado movimiento CTS. Sin la acción de estos grupos de ciudadanos y ciudadanas *con capacidad para comprender los argumentos de Carson*, la prohibición se hubiera producido mucho más tarde, con efectos aún más

devastadores. Conviene, pues, llamar la atención sobre la influencia de estos "activistas ilustrados" y su indudable participación en la toma de decisiones, al hacer suyos los argumentos de Carson y exigir controles rigurosos de los efectos del DDT, que acabaron convenciendo a la comunidad científica y, posteriormente, a los legisladores, obligando a su prohibición. Y conviene señalar también que muchos científicos, con un nivel de conocimientos sin duda muy superior al de esos ciudadanos, no supieron o no quisieron ver, *inicialmente*, los peligros asociados al uso de plaguicidas.

Podemos mencionar casos similares, como por ejemplo entre otros, los relacionados con la construcción de las centrales nucleares y el almacenamiento de los residuos radiactivos; el uso de los "freones" (compuestos fluorclorocarbonados), destructores de la capa de ozono; el incremento del efecto invernadero, debido fundamentalmente a la creciente emisión de CO_2, que amenaza con un cambio climático global de consecuencias devastadoras; los alimentos manipulados genéticamente, etc.

Conviene detenerse mínimamente en el ejemplo de los alimentos transgénicos, que está suscitando hoy los debates más encendidos y que puede ilustrar perfectamente el papel de la ciudadanía en la toma de decisiones. También en este terreno las cosas empezaron planteándose como algo positivo que, entre otras ventajas, podría reducir el uso de pesticidas y herbicidas y convertirse en "la solución definitiva para los problemas del hambre en el mundo". Algo que, además, abría enormes posibilidades en el campo de la salud, para el tratamiento o curación de enfermedades incurables con los conocimientos y técnicas actuales. Así, en 1998, el director general de una de las más fuertes y conocidas empresas de organismos manipulados genéticamente (OGM) y alimentos derivados, en la asamblea anual de la Organización de la Industria de la Biotecnología, afirmó que "de algún modo, vamos a tener que resolver cómo abastecer de alimentos a una demanda que duplica la actual, sabiendo que es imposible doblar la superficie cultivable. Y es imposible, igualmente, aumentar la productividad usando las tecnologías actuales, sin crear graves problemas a la sostenibilidad de la agricultura (...) La biotecnología representa una solución potencialmente sostenible al problema de la alimentación" (Vilches y Gil Pérez, 2003).

Pero no todos han estado de acuerdo con una visión tan optimista, y muy pronto surgieron las preocupaciones por sus posibles riesgos para el medio ambiente, para la salud humana, para el futuro de la agricultura, etc. Una vez más, señalaron los críticos, se pretende proceder a una aplicación apresurada de tecnologías cuyas repercusiones no han sido suficientemente investigadas, sin tener garantías razonables de que no aparecerán efectos nocivos... como ocurrió con los plaguicidas, que también fueron saludados como "la solución definitiva" al problema del hambre y de muchas enfermedades infecciosas.

Nos encontramos, pues, con un amplio debate abierto, con estudios inacabados y resultados parciales contrapuestos (muchos de ellos presentados por las propias empresas productoras). Esas discrepancias entre los propios científicos son esgrimidas en ocasiones como argumento para cuestionar la participación de la ciudadanía en un debate "en el que ni siquiera los científicos, con conocimientos muy superiores, se ponen de acuerdo". Pero cabe insistir, una vez más, en que la toma de decisiones no puede basarse exclusivamente en argumentos científicos específicos. Por el contrario, las preocupaciones que despierta la utilización de estos productos, y las dudas a cerca de sus repercusiones, recomiendan que los ciudadanos y ciudadanas tengan la oportunidad de participar en el debate y exigir una estricta aplicación del principio de prudencia. Ello no cuestiona, desde luego, el desarrollo de la investigación ni en este ni en ningún otro campo, pero se opone a la

aplicación apresurada, sin suficientes garantías, de los nuevos productos, por el afán del beneficio a corto plazo. Es absolutamente lógico, pues, que haya surgido un significativo movimiento de rechazo entre los consumidores, *apoyado por un amplio sector de la comunidad científica*, hacia la comercialización precipitada y poco transparente de estos alimentos manipulados genéticamente. Cabe señalar que este rechazo está dando notables frutos, como la firma en Montreal del Protocolo de Bioseguridad en febrero de 2000 por 130 países, a pesar de las enormes dificultades previas y presiones de los países productores de organismos modificados genéticamente. Dicho protocolo, enmarcado en el Convenio sobre Seguridad Biológica de la ONU, supone un paso importante en la legislación internacional (aunque todavía no plenamente consolidado, por la falta de firmas como la de EEUU), puesto que *obliga a demostrar la seguridad antes de comercializar los productos*, evitando así que se repitan los graves errores del pasado.

Debemos insistir en que esta participación de la ciudadanía en la toma de decisiones, que se traduce, en general, en evitar la aplicación apresurada de innovaciones de las que se desconocen las consecuencias a medio y largo plazo, no supone ninguna rémora para el desarrollo de la investigación, ni para la introducción de innovaciones para las que existan razonables garantías de seguridad. De hecho, la opinión pública no se opone, por ejemplo, *a la investigación* con células madre embrionarias. Muy al contrario, está apoyando a la mayoría de la comunidad científica que reclama se levante la prohibición introducida en algunos países, debido a la presión de grupos ideológicos fundamentalistas.

En definitiva, la participación ciudadana en la toma de decisiones es hoy un hecho positivo, una garantía de aplicación del principio de precaución, que se apoya en una creciente sensibilidad social frente a las implicaciones del desarrollo tecnocientífico que puedan comportar riesgos para las personas o el medio ambiente. Dicha participación, hemos de insistir, reclama un mínimo de formación científica que haga posible la comprensión de los problemas y de las opciones –que se pueden y se deben expresar con un lenguaje accesible– y no ha de verse rechazada con el argumento de que problemas como el cambio climático o la manipulación genética sean de una gran complejidad. Naturalmente se precisan estudios científicos rigurosos, pero tampoco ellos, por si solos, bastan para adoptar decisiones adecuadas, puesto que, a menudo, la dificultad estriba, antes que en la falta de conocimientos, en la ausencia de un planteamiento global que evalúe los riesgos y contemple las posibles consecuencias a medio y largo plazo. Muy ilustrativo a este respecto puede ser el enfoque dado a las *catástrofes anunciadas,* como la provocada por el hundimiento de petroleros como el Exxon Valdez, Erika, Prestige... que se intenta presentar como "accidentes" (Vilches y Gil Pérez, 2003).

Todo ello constituye un argumento decisivo a favor de una alfabetización científica del conjunto de la ciudadanía, cuya necesidad aparece cada vez con más claridad ante la situación de auténtica "emergencia planetaria" (Bybee, 1991) que estamos viviendo. Así, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992 y conocida como *Primera Cumbre de la Tierra*, se reclamó una decidida acción de los educadores para que los ciudadanos y ciudadanas adquieran una correcta percepción de cuál es esa situación y *puedan participar en la toma de decisiones fundamentadas* (Edwards et al., 2001; Gil-Pérez et al., 2003; Vilches y Gil-Pérez, 2003). Como señalan Hicks y Holden (1995), si los estudiantes han de llegar a ser ciudadanos y ciudadanas responsables, es preciso que les proporcionemos ocasiones para analizar los problemas globales que caracterizan esa situación de emergencia planetaria y considerar las posibles soluciones.

Así pues, la alfabetización científica no sólo no constituye un "mito irrealizable" (Shamos, 1995), sino que se impone como una dimensión esencial de la cultura ciudadana. Cabe señalar, por otra parte, que la reivindicación de esta dimensión no es el fruto de "una idea preconcebida" aceptada acríticamente, como afirma Fensham (2002_a y 2002_b). Muy al contrario, el prejuicio ha sido y sigue siendo que "la mayoría de la población es incapaz de acceder a los conocimientos científicos, que exigen un alto nivel cognitivo", lo que implica, obviamente, reservarlos a una pequeña élite. El rechazo de la alfabetización científica recuerda así la sistemática resistencia histórica de los privilegiados a la extensión de la cultura y a la generalización de la educación (Gil Pérez y Vilches, 2001). Y su reivindicación forma parte de la batalla de las fuerzas progresistas por vencer dichas resistencias, que constituyen el verdadero prejuicio acrítico. Podemos recordar a este respecto la frase del gran científico francés Paul Langevin, quien en 1926 escribía: "En reconocimiento del papel jugado por la ciencia en la liberación de los espíritus y la confirmación de los derechos del hombre, el movimiento revolucionario hace un esfuerzo considerable para introducir la enseñanza de las ciencias en la cultura general y conformar esas humanidades modernas que aún no hemos logrado establecer". Sin embargo, no parece que ese reconocimiento se haya generalizado después de todos estos años. Como señalábamos al principio del capítulo, son numerosas las investigaciones que señalan la falta de interés del alumnado hacia los estudios científicos. Podríamos preguntarnos si en realidad no es de esperar ese desinterés frente al estudio de una actividad tan racional y compleja como la ciencia.

Propuesta de trabajo

¿Hasta qué punto puede interesar a los adolescentes el estudio de campos como, por ejemplo, la mecánica? ¿Acaso no se trata de materias abstractas, puramente formales, que constituyen cuerpos de conocimientos cerrados dogmáticos?

Las acusaciones de dogmatismo, de abstracción formalista carente de significatividad, etc., pueden considerarse justas si se refieren a la forma en que la enseñanza presenta habitualmente esas materias. Pero, ¿cómo aceptar que el desarrollo de la mecánica, o de cualquier otro campo de la ciencia, constituya una materia abstracta, puramente formal? Basta asomarse a la historia de las ciencias para darse cuenta del carácter de verdadera aventura, de lucha apasionada y apasionante por la libertad de pensamiento –en la que no han faltado ni persecuciones ni condenas– que el desarrollo científico ha tenido.

La recuperación de esos aspectos históricos y de relación ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA), sin dejar de lado los problemas que han jugado un papel central en el cuestionamiento de dogmatismos y en la defensa de la libertad de investigación y pensamiento, puede contribuir a devolver al aprendizaje de las ciencias la vitalidad y relevancia del propio desarrollo científico. Los debates en torno al heliocentrismo, el evolucionismo, la síntesis orgánica, el origen de la vida... constituyen ejemplos relevantes.

Pero el aprendizaje de las ciencias puede y debe ser también una aventura potenciadora del espíritu crítico en un sentido más profundo: la aventura que supone enfrentarse a problemas abiertos, participar en la construcción tentativa de soluciones... la aventura, en definitiva, de hacer ciencia. El problema es que la naturaleza de la ciencia aparece

distorsionada en la educación científica, incluso universitaria. Ello plantea la necesidad de superación de visiones deformadas y empobrecidas de la ciencia y la tecnología, socialmente aceptadas, que afectan al propio profesorado.

Dedicaremos el segundo capítulo a cuestionar dichas visiones deformadas, pero antes, para terminar este capítulo, discutiremos otra de las razones esgrimidas en contra de la idea de alfabetización científica del conjunto de la población.

ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA VERSUS PREPARACIÓN DE FUTUROS CIENTÍFICOS

Antes de dar por válida la idea de una alfabetización científica del conjunto de la ciudadanía, conviene reflexionar en torno a los posibles efectos negativos de esta orientación sobre la preparación de futuros científicos.

Propuesta de trabajo

Si se orienta la educación científica para lograr una alfabetización básica de la ciudadanía, ¿hasta qué punto no se perjudicará la preparación de los futuros científicos que nuestras sociedades precisan?

Una tesis comúnmente aceptada por los diseñadores de currículos y los profesores de ciencias es que la educación científica ha estado orientada hasta aquí para preparar a los estudiantes como si todos pretendieran llegar a ser especialistas en biología, física o química. Por ello -se afirma- los currículos planteaban, como objetivos prioritarios, que los estudiantes supieran, fundamentalmente, los conceptos, principios y leyes de esas disciplinas.

Dicha orientación habría de modificarse –se explica– *a causa de* que la educación científica se plantea ahora como parte de una educación general para todos los futuros ciudadanos y ciudadanas. *Ello es lo que justifica*, se argumenta, el énfasis de las nuevas propuestas curriculares en los aspectos sociales y personales, puesto que se trata de ayudar a la gran mayoría de la población a tomar conciencia de las complejas relaciones ciencia y sociedad, para permitirles participar en la toma de decisiones y, en definitiva, a considerar la ciencia como parte de la cultura de nuestro tiempo.

Esta apuesta por una educación científica orientada a la formación ciudadana, *en vez de* a la preparación de futuros científicos, genera resistencias en numerosos profesores, quienes argumentan, legítimamente, que la sociedad necesita científicos y tecnólogos que han de formarse y ser adecuadamente seleccionados desde los primeros estadios.

En ambas actitudes –tanto la que defiende la alfabetización científica para todos como la que prioriza la formación de futuros científicos– se aprecia claramente una misma aceptación de la contraposición entre dichos objetivos. Pero es preciso denunciar la falacia de esta contraposición entre ambas orientaciones curriculares y de los argumentos que supuestamente la avalan.

Cabe insistir, en primer lugar, que una educación científica como la practicada hasta aquí, tanto en la secundaria como en la misma universidad, centrada casi exclusivamente

en los aspectos conceptuales, es igualmente criticable como preparación de futuros científicos. Esta orientación transmite una visión deformada y empobrecida de la actividad científica, que no sólo contribuye a una imagen pública de la ciencia como algo ajeno e inasequible –cuando no directamente rechazable–, sino que está haciendo disminuir drásticamente el interés de los jóvenes por dedicarse a la misma (Matthews, 1991; Solbes y Vilches, 1997).

Ya hemos señalado que dedicaremos el siguiente capítulo a analizar dichas deformaciones, estudiando sus consecuencias y la forma de superarlas. Aquí terminaremos insistiendo en que esta enseñanza centrada en los aspectos conceptuales, supuestamente orientada a la formación de futuros científicos, *dificulta*, paradójicamente, el aprendizaje conceptual. En efecto, la investigación en didáctica de las ciencias está mostrando que "los estudiantes desarrollan mejor su comprensión conceptual y aprenden más acerca de la naturaleza de la ciencia cuando participan en investigaciones científicas, con tal de que haya suficientes oportunidades y apoyo para la reflexión" (Hodson, 1992). Dicho con otras palabras, lo que la investigación está mostrando es que *la comprensión significativa de los conceptos exige superar el reduccionismo conceptual* y plantear el aprendizaje de las ciencias como una actividad, próxima a la investigación científica, que integre los aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales.

Tras la idea de alfabetización científica no debe verse, pues, una "desviación" o "rebaja" para hacer asequible la ciencia a la generalidad de los ciudadanos, sino una reorientación de la enseñanza absolutamente necesaria *también* para los futuros científicos; necesaria para modificar la imagen deformada de la ciencia hoy socialmente aceptada y luchar contra los movimientos anticiencia que se derivan; necesaria incluso, insistimos, para hacer posible una adquisición significativa de los conceptos.

De ninguna forma puede aceptarse, pues, que el habitual reduccionismo conceptual constituya una exigencia de la preparación de futuros científicos, contraponiéndola a las necesidades de la alfabetización científica de los ciudadanos y ciudadanas. La mejor formación científica inicial que puede recibir un futuro científico coincide con la orientación a dar a la alfabetización científica del conjunto de la ciudadanía. Esta convergencia se muestra de una forma todavía más clara cuando se analizan con algún detalle las propuestas de alfabetización científica y tecnológica (Bybee, 1997). La tesis básica de Bybee -coincidente, en lo esencial, con numerosos autores- es que dicha alfabetización exige, precisamente, la inmersión de los estudiantes en una cultura científica. El conjunto de este libro está destinado a presentar con algún detalle qué entendemos por esa inmersión.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir de los siguientes artículos:

GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación. *Investigación en la Escuela*, 43, pp.27-37.

GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2004). La contribución de la ciencia a la cultura ciudadana. *Cultura y Educación* (en prensa).

Referencias bibliográficas en este capítulo

AIKENHEAD, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 69(4), 453-475.

ATKIN, J. M. y HELMS, J. (1993). Getting serious about priorities in science education. *Studies in Science Education*, 21, 1-20.

BAKER, D. R. (1998). Equity Issues in Science Education. En Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (Eds.),. *International Handbook of Science Education.* London: Kluwer Academic Publishers.

BYBEE, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153.

BYBEE, R. (1997). Towards an Understanding of Scientific Literacy. En Graeber, W. y Bolte, C. (Eds.), *Scientific Literacy.* Kiel: IPN.

BYBEE, R. y DeBOER, G. E. (1994). Research on goals for the science curriculum. En Gabel, D. L. *Handbook of Research en Science Teaching and Learning*. New York: McMillan P.C.

CARSON, R. (1980). *Primavera silenciosa.* Barcelona: Grijalbo.

COMISIÓN MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988). *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza.

DeBOER, G. E. (2000). Scientific literacy: another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching,* 37(6), 582-601.

DE BUDAPEST (1999). DECLARACIÓN DE BUDAPEST (1999). Marco general de acción de la Declaración de Budapest, http://www.oei.org.co/cts/budapest.dec.htm.

EDWARDS, M., GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., PRAIA, J., VALDÉS, P., VITAL, M. L., CAÑAL, P., DEL CARMEN, L., RUEDA, C. y TRICÁRICO, H. (2001). Una propuesta para la transformación de las percepciones docentes acerca de la situación del mundo. Primeros resultados. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales,* 15, 37-67.

FENSHAM, P. J. (2002a). Time to change Drivers for Scientific Literacy. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education,* 2(1), 9-24.

FENSHAM, P. J. (2002b). De nouveaux guides pour l'alphabétisation scientifique. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education,* 2(2), 133-149.

FOUREZ, G. (1997). *Alfabetización científica y tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Colihue.

FURIÓ, C. y VILCHES, A. (1997). Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad. En del Carmen, L. (Coord.), *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria.* 47-71. Barcelona: Horsori.

GIORDAN, A. (1997). ¿Las ciencias y las técnicas en la cultura de los años 2000? *Kikirikí*, nº 44-45, 33-34.

GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación. *Investigación en la Escuela*, 43, 27-37.

GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., EDWARDS, M., PRAIA, J., MARQUES, L. y OLIVEIRA, T. (2003). A proposal to enrich teachers' perception of the state of the world. First results. *Environmental Education Research*, 9(1), 67-90.

HICKS, D. y HOLDEN, C. (1995). Exploring the future a Missing Dimension in Environmental Education. *Environmental Education Research*, 1(2), 185-193.

HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.

LANGEVIN, P. (1926). La valeur éducative de l'histoire des sciences. *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 22, décembre 1926.

MARCO, B. (2000). La alfabetización científica. En Perales, F. y Cañal, P. (Eds.),: *Didáctica de las Ciencias Experimentales*,141-164. Alcoy: Marfil.

MARCHESI, A. (2000). Un sistema de indicadores de desigualdad educativa. *Revista Iberoamericana de Educación*, 23, 135-163.

MATTHEWS, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las Ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación,* 11-12, 141-155.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*. Washington D.C.: National Academy Press.

REID, D. V. y HODSON, D. (1993). *Ciencia para todos en secundaria.* Madrid: Narcea.

SHAMOS, M. (1995). *The Myth of Scientific Literacy*. New Brunswick (N. J.): Rutgers University Press.

SIMPSON, R. D., KOBALA, T. R., OLIVER, J. S. y CRAWLEY, F. E. (1994). Research on the affective dimension of science learning. En Gabel, D. L (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* N.Y.: McMillan Pub Co.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.

Capítulo 2

¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos?

La superación de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología: Un requisito esencial para la renovación de la educación científica

Isabel Fernández, Daniel Gil Pérez, Pablo Valdés y Amparo Vilches

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Cuáles pueden ser las concepciones erróneas sobre la actividad científica a las que la enseñanza de las ciencias debería prestar atención, evitando su transmisión explícita o implícita?
- ¿Qué aspectos deberían incorporarse al currículo para evitar visiones distorsionadas y empobrecidas de la actividad científica, que dificultan el aprendizaje y generan actitudes negativas?
- ¿Qué cambio radical en el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias implica dicha incorporación? ¿Qué dificultades puede conllevar dicho cambio?

EXPRESIONES CLAVE

Aprendizaje como investigación orientada; características de la actividad científica y/o tecnológica; naturaleza de la ciencia y la tecnología; relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA); visiones deformadas de la ciencia y la tecnología.

INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior hemos estudiado las razones que apoyan la idea de una alfabetización científica para todos los ciudadanos y ciudadanas y hemos analizado las reticencias y barreras sociales que se han opuesto (y continúan oponiéndose) a una educación científica generalizada, con argumentos que expresan implícitamente la oposición a la ampliación del período de escolarización obligatoria para toda la ciudadanía, la supuesta incapacidad de la mayoría de la población para una formación científica, etc.

La educación científica aparece así como una necesidad del desarrollo social y personal. Pero las expectativas puestas en la contribución de las ciencias a unas humanidades modernas (Langevin, 1926) no se han cumplido y asistimos a un fracaso generalizado y, lo que es peor, a un creciente rechazo de los estudiantes hacia el aprendizaje de las ciencias e, incluso, hacia la ciencia misma.

Esta preocupante distancia entre las expectativas puestas en la contribución de la educación científica a la formación de ciudadanos conscientes de las repercusiones sociales de la ciencia –y susceptibles de incorporarse, en un porcentaje significativo, a sus tareas– y la realidad de un amplio rechazo de la ciencia y su aprendizaje, ha terminado por dirigir la atención hacia cómo se está llevando a cabo esa educación científica.

Este análisis de la enseñanza de las ciencias ha mostrado, entre otras cosas, graves distorsiones de la naturaleza de la ciencia que justifican, en gran medida, tanto el fracaso de buen número de estudiantes como su rechazo de la ciencia. Hasta el punto de que hayamos comprendido, como afirman Guilbert y Meloche (1993), que la mejora de la educación científica exige, como requisito ineludible, modificar la imagen de la naturaleza de la ciencia que los profesores tenemos y transmitimos.

En efecto, numerosos estudios han mostrado que la enseñanza transmite visiones de la ciencia que se alejan notoriamente de la forma como se construyen y evolucionan los conocimientos científicos (McComas, 1998; Fernández, 2000). Visiones empobrecidas y distorsionadas que generan el desinterés, cuando no el rechazo, de muchos estudiantes y se convierten en un obstáculo para el aprendizaje.

Ello está relacionado con el hecho de que la enseñanza científica –incluida la universitaria– se ha reducido básicamente a la presentación de conocimientos ya elaborados, sin dar ocasión a los estudiantes de asomarse a las actividades características de la actividad científica (Gil-Pérez et al., 1999). De este modo, las concepciones de los estudiantes –incluidos los futuros docentes– no llegan a diferir de lo que suele denominarse una imagen "folk", "naif" o "popular" de la ciencia, socialmente aceptada, asociada a un supuesto "Método Científico", con mayúsculas, perfectamente definido (Fernández et al., 2002).

Se podría argumentar que esta disonancia carece, en el fondo, de importancia, puesto que no ha impedido que los docentes desempeñemos la tarea de transmisores de los conocimientos científicos. Sin embargo, las limitaciones de una educación científica centrada en la mera transmisión de conocimientos –puestas de relieve por una abundante literatura, recogida en buena medida en los Handbooks ya aparecidos (Gabel, 1994; Fraser y Tobin, 1998; Perales y Cañal, 2000)– han impulsado investigaciones que señalan a las concepciones epistemológicas "de sentido común" como uno de los principales obstáculos para movimientos de renovación en el campo de la educación científica.

Se ha comprendido así que, si se quiere cambiar lo que los profesores y los alumnos hacemos en las clases de ciencias, es preciso previamente modificar la epistemología de

los profesores (Bell y Pearson, 1992). Y aunque poseer concepciones válidas acerca de la ciencia no garantiza que el comportamiento docente sea coherente con dichas concepciones, constituye *un requisito sine qua non* (Hodson, 1993). El estudio de dichas concepciones se ha convertido, por esa razón, en una potente línea de investigación y ha planteado la necesidad de establecer lo que puede entenderse como una imagen básicamente correcta sobre la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica, coherente con la epistemología actual. Esto es lo que pretendemos abordar en este capítulo.

POSIBLES VISIONES DEFORMADAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Somos conscientes de la dificultad que entraña hablar de una "imagen correcta" de la actividad científica, que parece sugerir la existencia de un supuesto método universal, de un modelo único de desarrollo científico. Es preciso, por supuesto, evitar cualquier interpretación de este tipo, pero ello no se consigue renunciando a hablar de las características de la actividad científica, sino con un esfuerzo consciente por evitar simplismos y deformaciones claramente contrarias a lo que puede entenderse, en sentido amplio, como aproximación científica al tratamiento de problemas.

Se trataría, en cierto modo, de aprehender por vía negativa una actividad compleja que parece difícil de caracterizar positivamente. Ésta es la primera tarea que nos proponemos:

Propuesta de trabajo

Explicitemos, a título de hipótesis, cuáles pueden ser las concepciones erróneas sobre la actividad científica a las que la enseñanza de las ciencias debe prestar atención, evitando su transmisión explícita o implícita.

Podría pensarse que esta actividad ha de ser escasamente productiva ya que se está pidiendo a los profesores, que solemos incurrir en dichas deformaciones, que investiguemos cuáles pueden ser éstas. Sin embargo, al crearse una situación de investigación (preferiblemente colectiva), los profesores podemos distanciarnos críticamente de nuestras concepciones y prácticas habituales, fruto de una impregnación ambiental que no habíamos tenido ocasión de analizar y valorar.

El resultado de este trabajo, que ha sido realizado con numerosos grupos de profesores en formación y en activo, es que las deformaciones conjeturadas son siempre las mismas; más aún, no sólo se señalan sistemáticamente las mismas deformaciones, sino que se observa una notable coincidencia en la frecuencia con que cada una es mencionada.

Cabe señalar, por otra parte, que si se realiza un análisis bibliográfico, buscando referencias a posibles errores y simplismos en la forma en que la enseñanza de la ciencia presenta la naturaleza de la ciencia, los resultados de dicho análisis son sorprendentemente coincidentes con las conjeturas de los equipos docentes en lo que se refieren a las deformaciones mencionadas y, en general, incluso a la frecuencia con que lo son (Fernández, 2000). Esta coincidencia básica muestra la efectividad de la reflexión de los equipos docentes.

Conviene detenerse en discutir las deformaciones conjeturadas (como veremos, *estrechamente relacionadas entre sí)*, que expresan, en su conjunto, una imagen ingenua profundamente alejada de lo que supone la construcción de conocimientos científicos, pero que ha ido consolidándose hasta convertirse en un estereotipo socialmente aceptado que, insistimos, la propia educación científica refuerza por acción u omisión.

Los lectores que se hayan detenido a conjeturar estas posibles distorsiones podrán ahora comparar sus reflexiones con los resultados de las investigaciones recogidas en la literatura.

1. Una visión descontextualizada

Hemos elegido comenzar por una deformación criticada por todos los equipos docentes implicados en este esfuerzo de clarificación y por una abundante literatura: la transmisión de una visión descontextualizada, socialmente neutra, que olvida dimensiones esenciales de la actividad científica y tecnológica, como su impacto en el medio natural y social o los intereses e influencias de la sociedad en su desarrollo (Hodson, 1994). Se ignoran, pues, las complejas relaciones CTS, ciencia-tecnología-sociedad, o, mejor, CTSA, agregando la A de ambiente para llamar la atención sobre los graves problemas de degradación del medio que afectan a la totalidad del planeta. Este tratamiento descontextualizado comporta, muy en particular, una falta de clarificación de las relaciones entre ciencia y tecnología.

Propuesta de trabajo

¿Qué relación concebimos entre ciencia y tecnología?

Habitualmente, la tecnología es considerada una mera aplicación de los conocimientos científicos**.** De hecho, la tecnología ha sido vista tradicionalmente como una actividad de menor estatus que la ciencia "pura" (Acevedo, 1996; De Vries, 1996; Cajas, 1999 y 2001), por más que ello haya sido rebatido por epistemólogos como Bunge (1976 y 1997). Hasta muy recientemente, su estudio no ha formado parte de la educación general de los ciudadanos (Gilbert, 1992 y 1995), sino que ha quedado relegado, en el nivel secundario, a la llamada formación profesional, a la que se orientaba a los estudiantes con peores rendimientos escolares, frecuentemente procedentes de los sectores sociales más desfavorecidos (Rodríguez, 1998). Ello responde a la tradicional primacía social del trabajo "intelectual" frente a las actividades prácticas, "manuales", propias de las técnicas (Medway, 1989; López Cubino, 2001).

Es relativamente fácil, sin embargo, cuestionar esta visión simplista de las relaciones ciencia-tecnología: basta reflexionar brevemente sobre el desarrollo histórico de ambas (Gardner, 1994) para comprender que la actividad técnica ha precedido en milenios a la ciencia y que, por tanto, en modo alguno puede considerarse como mera aplicación de conocimientos científicos. A este respecto cabe subrayar que los dispositivos e instalaciones, y en general los inventos tecnológicos, no pueden ser considerados como meras aplicaciones de determinadas ideas científicas, en primer lugar, porque ellos tienen una prehistoria que muchas veces es independiente de dichas ideas como, muy en particular, necesidades humanas que han ido evolucionando, otras invenciones que le precedieron o

conocimientos y experiencia práctica acumulada de muy diversa índole. Así, la desviación de una aguja magnética por una corriente eléctrica (experiencia de Oersted, efectuada en 1819), por sí misma no sugería su utilización para la comunicación a distancia entre las personas. Se advirtió esa posibilidad sólo porque la comunicación a distancia era una necesidad creciente, y ya se habían desarrollado antes otras formas de "telegrafía", sonora y visual, en las cuales se empleaban determinados códigos; también se habían construido baterías de potencia considerable, largos conductores y otros dispositivos que resultaban imprescindibles para el invento de la telegrafía. Ello permite comenzar a romper con la idea común de la tecnología como subproducto de la ciencia, como un simple proceso de aplicación del conocimiento científico para la elaboración de artefactos (lo que refuerza el supuesto carácter neutral, ajeno a intereses y conflictos sociales, del binomio ciencia-tecnología).

Pero lo más importante es clarificar lo que la educación científica de los ciudadanos y ciudadanas pierde con esta minusvaloración de la tecnología. Ello nos obliga a preguntarnos, como hace Cajas (1999), si hay algo característico de la tecnología que pueda ser útil para la formación científica de los ciudadanos y que los profesores de ciencias no estemos tomando en consideración.

Propuesta de trabajo

Consideremos posibles características de la tecnología que puedan ser útiles para la formación científica de los ciudadanos y que los profesores de ciencias no estemos tomando en consideración.

Nadie pretende hoy, por supuesto, trazar una neta separación entre ciencia y tecnología: desde la revolución industrial los tecnólogos han incorporado de forma creciente las estrategias de la investigación científica para producir y mejorar sus productos. La interdependencia de la ciencia y la tecnología ha seguido creciendo debido a su incorporación a las actividades industriales y productivas, y eso hace difícil hoy –y, al mismo tiempo, carente de interés– clasificar un trabajo como puramente científico o puramente tecnológico.

Sí que interesa destacar, por el contrario, algunos aspectos de las relaciones ciencia-tecnología, con objeto de evitar visiones deformadas que empobrecen la educación científica y tecnológica. El objetivo de los tecnólogos ha sido y sigue siendo, fundamentalmente, producir y mejorar artefactos, sistemas y procedimientos que satisfagan necesidades y deseos humanos, más que contribuir a la comprensión teórica, es decir, a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos (Mitcham, 1989; Gardner, 1994). Ello no significa que no utilicen o construyan conocimientos, sino que los construyen para *situaciones específicas* reales (Cajas 1999) y, por tanto, complejas, en las que no es posible dejar a un lado toda una serie de aspectos que en una investigación científica pueden ser obviados como no relevantes, pero que es preciso contemplar en el diseño y manejo de productos tecnológicos que han de funcionar en la vida real.

De este modo, el estudio resulta a la vez más limitado (interesa resolver una cuestión específica, no construir un cuerpo de conocimientos) y más complejo (no es posible trabajar en condiciones 'ideales', fruto de análisis capaces de eliminar influencias 'espurias'). El cómo se convierte en la pregunta central, por encima del porqué. Un cómo que,

en general, no puede responderse únicamente a partir de principios científicos: al pasar de los diseños a la realización de prototipos y de éstos a la optimización de los procesos para su producción real, son innumerables –y, a menudo, insospechados– los problemas que deben resolverse. El resultado final ha de ser el funcionamiento correcto, en las situaciones requeridas, de los productos diseñados (Moreno, 1988).

Esta compleja interacción de comprensión y acción en situaciones específicas pero reales, no "puras", es lo que caracteriza el trabajo tecnológico (Hill, 1998; Cajas, 1999). Como vemos, en modo alguno puede concebirse la tecnología como mera aplicación de los conocimientos científicos. No debemos, pues, ignorar ni minusvalorar los procesos de diseño, necesarios para convertir en realidad los objetos y sistemas tecnológicos y para comprender su funcionamiento. La presentación de esos productos como simple aplicación de algún principio científico sólo es posible en la medida en que no se presta atención real a la tecnología. *Se pierde así una ocasión privilegiada para conectar con la vida diaria de los estudiantes,* para familiarizarles con lo que supone la concepción y realización práctica de artefactos y su manejo real, superando los habituales tratamientos puramente librescos y verbalistas.

Estos planteamientos afectan también, en general, a las propuestas de incorporación de la dimensión CTSA, que se han centrado en promover la absolutamente necesaria contextualización de la actividad científica, discutiendo la relevancia de los problemas abordados, estudiando sus aplicaciones y posibles repercusiones (poniendo énfasis en la toma de decisiones), pero que han dejado a un lado otros aspectos clave de lo que supone la tecnología: el análisis medios-fines, el diseño y realización de prototipos (con la resolución de innumerables problemas prácticos), la optimización de los procesos de producción, el análisis riesgo-coste-beneficio, la introducción de mejoras sugeridas por el uso en definitiva, todo lo que supone la realización práctica y el manejo real de los productos tecnológicos de los que depende nuestra vida diaria.

De hecho las referencias más frecuentes a las relaciones CTSA que incluyen la mayoría de los textos escolares de ciencias se reducen a la enumeración de algunas *aplicaciones* de los conocimientos científicos (Solbes y Vilches, 1997), cayendo así en una exaltación simplista de la ciencia como factor absoluto de progreso.

Frente a esta ingenua visión de raíz positivista comienza a extenderse una tendencia a descargar sobre la ciencia y la tecnología la responsabilidad de la situación actual de deterioro creciente del planeta, lo que no deja de ser una nueva simplificación maniquea en la que resulta fácil caer y que llega a afectar, incluso, a algunos libros de texto (Solbes y Vilches, 1998). No podemos ignorar, a este respecto, que son científicos quienes estudian los problemas a que se enfrenta hoy la humanidad, advierten de los riesgos y ponen a punto soluciones (Sánchez Ron, 1994). Por supuesto, no sólo los científicos ni todos los científicos. Es cierto que son también científicos y tecnólogos quienes han producido, por ejemplo, los compuestos que están destruyendo la capa de ozono, *pero junto a economistas, políticos, empresarios y trabajadores*. Las críticas y las llamadas a la responsabilidad han de extenderse *a todos,* incluidos los "simples" consumidores de los productos nocivos.

El olvido de la tecnología es expresión de visiones puramente operativistas que ignoran completamente la contextualización de la actividad científica, como si la ciencia fuera un producto elaborado en torres de marfil, al margen de las contingencias de la vida ordinaria. Se trata de una visión que conecta con la que contempla a los científicos como

seres especiales, genios solitarios que manejan un lenguaje abstracto, de difícil acceso. La visión descontextualizada se ve reforzada, pues, por las concepciones individualistas y elitistas de la ciencia.

2. Una concepción individualista y elitista

Propuesta de trabajo

Consideremos en qué medida la enseñanza puede estar contribuyendo a una concepción individualista y elitista de la actividad científica.

Ésta es, junto a la visión descontextualizada que acabamos de analizar –y a la que está estrechamente ligada–, otra de las deformaciones más frecuentemente señaladas por los equipos docentes, y también más tratadas en la literatura. Los conocimientos científicos aparecen como obra de genios aislados, ignorándose el papel del trabajo colectivo, de los intercambios entre equipos... En particular, se deja creer que los resultados obtenidos por un solo científico o equipo pueden bastar para verificar o falsar una hipótesis o, incluso, toda una teoría.

A menudo se insiste explícitamente en que el trabajo científico es un dominio reservado a minorías especialmente dotadas, transmitiendo expectativas negativas hacia la mayoría de los alumnos y, muy en particular, de las alumnas, con claras discriminaciones de naturaleza social y sexual: la ciencia es presentada como una actividad eminentemente "masculina".

Se contribuye, además, a este elitismo escondiendo la significación de los conocimientos tras presentaciones exclusivamente operativistas. No se realiza un esfuerzo por hacer la ciencia accesible (comenzando con tratamientos cualitativos, significativos), ni por mostrar su carácter de construcción humana, en la que no faltan confusiones ni errores, como los de los propios alumnos.

En algunas ocasiones nos encontramos con una deformación de signo opuesto que contempla la actividad científica como algo sencillo, próximo al sentido común, olvidando que la construcción científica parte, precisamente, del cuestionamiento sistemático de lo obvio (Bachelard, 1938), pero en general la concepción dominante es la que contempla la ciencia como una actividad de genios aislados.

La falta de atención a la tecnología contribuye a esta visión individualista y elitista: por una parte, se obvia la complejidad del trabajo científico-tecnológico que exige, como ya hemos señalado, la integración de diferentes clases de conocimientos, difícilmente asumibles por una única persona; por otra, se minusvalora la aportación de técnicos, maestros de taller, etc., quienes a menudo han jugado un papel esencial en el desarrollo científico-tecnológico. El punto de partida de la Revolución Industrial, por ejemplo, fue la máquina de Newcomen, que era fundidor y herrero. Como afirma Bybee (2000), "Al revisar la investigación científica contemporánea, uno no puede escapar a la realidad de que la mayoría de los avances científicos están basados en la tecnología". Y ello cuestiona la visión elitista, socialmente asumida, de un trabajo científico-intelectual por encima del trabajo técnico.

La imagen individualista y elitista del científico se traduce en iconografías que representan al *hombre* de bata blanca en su inaccesible laboratorio, repleto de extraños instrumentos. De esta forma, conectamos con una tercera y grave deformación: la que asocia el trabajo científico, casi exclusivamente, con ese trabajo en el laboratorio, donde el científico experimenta y observa en busca del feliz "descubrimiento". Se transmite así una visión empiro-inductivista de la actividad científica, que abordaremos seguidamente.

3. Una concepción empiro-inductivista y ateórica

Propuesta de trabajo

¿Cuál sería el papel de la observación y de la experimentación en la actividad científica?

Quizás sea la concepción empiro-inductivista la deformación que ha sido estudiada en primer lugar, y la más ampliamente señalada en la literatura. Una concepción que defiende el papel de la observación y de la experimentación "neutras" (no contaminadas por ideas apriorísticas), olvidando el papel esencial de las hipótesis como focalizadoras de la investigación y de los cuerpos coherentes de conocimientos (teorías) disponibles, que orientan todo el proceso.

Numerosos estudios han mostrado las discrepancias entre la imagen de la ciencia proporcionada por la epistemología contemporánea y ciertas concepciones docentes, ampliamente extendidas, marcadas por un empirismo extremo (Giordan, 1978; Hodson, 1985; Nussbaum, 1989; Cleminson, 1990; King, 1991; Stinner, 1992; Désautels et al., 1993; Lakin y Wellington, 1994; Hewson, Kerby y Cook, 1995; Jiménez Aleixandre, 1995; Thomaz et al., 1996; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999...). Hay que insistir, a este respecto, en el rechazo generalizado de lo que Piaget (1970) denomina "el mito del origen sensorial de los conocimientos científicos", es decir, en el rechazo de un empirismo que concibe los conocimientos como resultado de la inferencia inductiva a partir de "datos puros". Esos datos no tienen sentido en sí mismos, sino que requieren ser interpretados de acuerdo con un sistema teórico. Así, por ejemplo, cuando se utiliza un amperímetro no se observa la intensidad de una corriente, sino la simple desviación de una aguja (Bunge, 1980). Se insiste, por ello, en que toda investigación y la misma búsqueda de datos vienen marcadas por paradigmas teóricos, es decir, por visiones coherentes, articuladas, que orientan dicha investigación.

Es preciso, además, insistir en la importancia de los paradigmas conceptuales, de las teorías, en el desarrollo del trabajo científico (Bunge, 1976), en un proceso complejo, no reducible a un modelo definido de cambio científico (Estany, 1990), que incluye eventuales rupturas, cambios revolucionarios (Kuhn, 1971), del paradigma vigente en un determinado dominio y surgimiento de nuevos paradigmas teóricos. Y es preciso también insistir en que los problemas científicos constituyen inicialmente "situaciones problemáticas" confusas: el problema no viene dado, es necesario formularlo de manera precisa, modelizando la situación, haciendo determinadas opciones para simplificarlo más o menos con el fin de poder abordarlo, clarificando el objetivo, etc. Y todo esto partiendo del corpus de conocimientos que se posee en el campo específico en que se desarrolla el programa de investigación (Lakatos, 1989).

Estas concepciones empiro-inductivistas de la ciencia afectan a los mismos científicos –pues, como explica Mosterín (1990), sería ingenuo pensar que éstos "son siempre explícitamente conscientes de los métodos que usan en su investigación"–, así como, lógicamente, a los mismos estudiantes (Gaskell, 1992; Pomeroy, 1993; Roth y Roychondhury, 1994; Solomon, Duveen y Scott, 1994; Abrams y Wandersee, 1995; Traver, 1996; Roth y Lucas, 1997; Désautels y Larochelle, 1998). Conviene señalar que esta idea, que atribuye la esencia de la actividad científica a la experimentación, coincide con la de "descubrimiento" científico, transmitida, por ejemplo, por los cómics, el cine y, en general, por los medios de comunicación (Lakin y Wellington, 1994). Dicho de otra manera, parece que la visión de los profesores –o la que proporcionan los libros de texto (Selley, 1989; Stinner, 1992)– no es muy diferente, en lo que respecta al papel atribuido a los experimentos, de lo que hemos denominado la imagen "ingenua" de la ciencia, socialmente difundida y aceptada.

Cabe señalar que aunque ésta es, parece ser, la deformación más estudiada y criticada en la literatura, son pocos los equipos docentes que se refieren a esta posible deformación. Ello puede interpretarse como índice del peso que continúa teniendo esta concepción empiro-inductivista en el profesorado de ciencias. Es preciso tener en cuenta a este respecto que, pese a la importancia dada (verbalmente) a la observación y experimentación, en general la enseñanza es puramente **libresca**, de simple transmisión de conocimientos, sin apenas trabajo experimental *real* (más allá de algunas "recetas de cocina"). La experimentación conserva, así, para profesores y estudiantes el atractivo de una "revolución pendiente", como hemos podido percibir en entrevistas realizadas a profesores en activo (Fernández, 2000).

Esta falta de trabajo experimental tiene como una de sus causas la escasa familiarización de los profesores con la dimensión tecnológica y viene, a su vez, a reforzar las visiones simplistas sobre las relaciones ciencia-tecnología a las que ya hemos hecho referencia. En efecto, el trabajo experimental puede ayudar a comprender que, si bien la tecnología se ha desarrollado durante milenios sin el concurso de la ciencia, inexistente hasta muy recientemente (Niiniluoto, 1997; Quintanilla y Sánchez Ron, 1997), la construcción del conocimiento científico *siempre* ha sido y sigue siendo deudora de la tecnología: basta recordar que para someter a prueba las hipótesis que focalizan una investigación estamos obligados a construir diseños experimentales; y hablar de *diseños* es ya utilizar un lenguaje tecnológico.

Es cierto que, como ya señalaba Bunge (1976), los diseños experimentales son deudores del cuerpo de conocimientos (la construcción, por ejemplo, de un amperímetro sólo tiene sentido a la luz de una buena comprensión de la corriente eléctrica), pero su realización concreta exige resolver problemas prácticos en un proceso complejo con todas las características del trabajo tecnológico. Es precisamente éste el sentido que debe darse a lo que manifiesta Hacking (1983) cuando -parafraseando la conocida frase de que "la observación está cargada de teoría" (Hanson 1958)- afirma que "la observación y la experimentación científica están cargadas de una competente práctica previa".

Cuando, por ejemplo, Galileo concibe la idea de "debilitar", la caída de los cuerpos mediante el uso de un plano inclinado de fricción despreciable, con objeto de someter a prueba la hipótesis de que la caída de los graves constituye un movimiento de aceleración constante, la propuesta resulta conceptualmente sencilla: si la caída libre tiene lugar con aceleración constante, el movimiento de un cuerpo que se deslice por un plano inclinado con fricción despreciable también tendrá aceleración constante, pero tanto más pequeña cuanto menor sea el ángulo del plano, lo que facilita la medida de los

tiempos y la puesta a prueba de la relación esperada entre las distancias recorridas y los tiempos empleados**.** Sin embargo, la realización práctica de este diseño comporta resolver toda una variedad de problemas: preparación de una superficie suficientemente plana y pulida, por la que pueda rodar una esferita, como forma de reducir la fricción; construcción de una canaleta para evitar que la esferita se desvíe y caiga del plano inclinado; establecimiento de la forma de soltar la esferita y de determinar el instante de llegada, etc. Se trata, sin duda alguna, de un trabajo tecnológico destinado a lograr un objetivo concreto, a resolver una situación específica, lo que exige una multiplicidad de habilidades y conocimientos. Y lo mismo puede decirse de cualquier diseño experimental, incluso de los más sencillos.

No se trata, pues, de señalar, como a veces se hace, que "*algunos*" desarrollos tecnológicos han sido imprescindibles para hacer posible "*ciertos*" avances científicos (como, p.e., el papel de las lentes en la investigación astronómica): la tecnología está *siempre* en el corazón de la actividad científica; la expresión *diseño* experimental es perfectamente ilustrativa a este respecto.

Desafortunadamente, las escasas prácticas de laboratorio escolares escamotean a los estudiantes (¡incluso en la universidad!) toda la riqueza del trabajo experimental, puesto que presentan montajes ya elaborados para su simple manejo siguiendo guías tipo "receta de cocina".

De este modo, la enseñanza centrada en la simple transmisión de conocimientos ya elaborados no sólo impide comprender el papel esencial que la tecnología juega en el desarrollo científico, sino que, contradictoriamente, favorece el mantenimiento de las concepciones empiro-inductivistas que sacralizan un trabajo experimental, al que nunca se tiene acceso real, como elemento central de un supuesto "método científico", lo que se vincula con otras dos graves deformaciones que abordaremos brevemente a continuación.

4. Una visión rígida, algorítmica, infalible...

Propuesta de trabajo
Analicemos críticamente la concepción, ampliamente recogida en la literatura, que presenta el "Método Científico" como un conjunto de etapas a seguir correlativamente, resaltando lo que supone tratamiento cuantitativo, control riguroso, etc., y olvidando –o, incluso, rechazando– todo lo que significa invención, creatividad, duda...

Ésta es una concepción ampliamente difundida entre el profesorado de ciencias, como se ha podido constatar utilizando diversos diseños (Fernández, 2000). Así, en entrevistas mantenidas con profesores, una mayoría se refiere al "método científico" como una secuencia de etapas definidas, en las que las "observaciones" y los "experimentos rigurosos" juegan un papel destacado, contribuyendo a la "exactitud y objetividad" de los resultados obtenidos.

Frente a ello es preciso resaltar el papel jugado en la investigación por el pensamiento divergente, que se concreta en aspectos fundamentales y erróneamente relegados en los planteamientos empiro-inductivistas, como son la invención de hipótesis y modelos o el propio diseño de experimentos. No se razona, pues, en términos de certezas más o menos basadas en "evidencias", sino en términos de hipótesis, que se apoyan, es cierto en los conocimientos adquiridos, pero que son contempladas como "tentativas de respuesta" que han de ser puestas a prueba lo más rigurosamente posible, lo que da lugar a un proceso complejo, en el que no existen principios normativos, de aplicación universal, para la aceptación o rechazo de hipótesis o, más en general, para explicar los cambios en los conocimientos científicos (Giere, 1988). Es preciso reconocer, por el contrario, que ese carácter tentativo se traduce en dudas sistemáticas, en replanteamientos, búsqueda de nuevas vías, etc., que muestran el papel esencial de la invención y la creatividad, contra toda idea de método riguroso, algorítmico. Y, si bien la obtención de datos experimentales en condiciones definidas y controladas (en las que la dimensión tecnológica juega un papel esencial) ocupa un lugar central en la investigación científica, es preciso relativizar dicho papel, que sólo cobra sentido, insistimos, con relación a las hipótesis a contrastar y a los diseños concebidos a tal efecto. En palabras de Hempel (1976), "al conocimiento científico no se llega aplicando un procedimiento inductivo de inferencia a partir de datos recogidos con anterioridad, sino más bien mediante el llamado método de las hipótesis a título de intentos de respuesta a un problema en estudio y sometiendo luego éstas a la contrastación empírica". Son las hipótesis, pues, las que orientan la búsqueda de datos. Unas hipótesis que, a su vez, nos remiten al paradigma conceptual de partida, poniendo de nuevo en evidencia el error de los planteamientos empiristas.

La concepción algorítmica, como la empiro-inductivista, en la que se apoya, puede mantenerse en la medida misma en que el conocimiento científico se transmite en forma acabada para su simple recepción, sin que ni los estudiantes ni los profesores tengan ocasión de constatar prácticamente las limitaciones de ese supuesto "método científico". Por la misma razón se incurre con facilidad en una visión aproblemática y ahistórica de la actividad científica a la que nos referiremos a continuación.

5. Una visión aproblemática y ahistórica (ergo acabada y dogmática)

Como ya hemos señalado, el hecho de transmitir conocimientos ya elaborados conduce muy a menudo a ignorar cuáles fueron los problemas que se pretendían resolver, cuál ha sido la evolución de dichos conocimientos, las dificultades encontradas, etc., y, más aún, a no tener en cuenta las limitaciones del conocimiento científico actual o las perspectivas abiertas.

Propuesta de trabajo

¿Cuáles pueden ser las consecuencias de no referirse a los problemas que están en el origen de la construcción de unos conocimientos?

Al presentar unos conocimientos ya elaborados, sin siquiera referirse a los problemas que están en su origen, se pierde de vista que, como afirma Bachelard (1938), "todo

conocimiento es la respuesta a una cuestión", a un problema. Este olvido dificulta captar la racionalidad del proceso científico y hace que los conocimientos aparezcan como construcciones arbitrarias. Por otra parte, al no contemplar la evolución de los conocimientos, es decir, al no tener en cuenta la historia de las ciencias, se desconoce cuáles fueron las dificultades, los obstáculos epistemológicos que fue preciso superar, lo que resulta fundamental para comprender las dificultades de los alumnos (Saltiel y Viennot, 1985).

Debemos insistir, una vez más, en la estrecha relación existente entre las deformaciones contempladas hasta aquí. Esta visión aproblemática y ahistórica, por ejemplo, hace posible las concepciones simplistas acerca de las relaciones ciencia-tecnología. Pensemos que si toda investigación responde a problemas, a menudo, esos problemas tienen una vinculación directa con necesidades humanas y, por tanto, con la búsqueda de soluciones adecuadas para problemas tecnológicos previos.

De hecho, el olvido de la dimensión tecnológica en la educación científica impregna la visión distorsionada de la ciencia, socialmente aceptada, que estamos sacando aquí a la luz. Precisamente por ello hemos denominado este apartado "Posibles visiones deformadas de la ciencia y la tecnología", tratando así de superar un olvido que históricamente tiene su origen en la distinta valoración del trabajo intelectual y manual y que afecta gravemente a la necesaria alfabetización científica y tecnológica del conjunto de la ciudadanía (Maiztegui et al., 2002).

La visión distorsionada y empobrecida de la naturaleza de la ciencia y de la construcción del conocimiento científico, en la que la enseñanza de las ciencias incurre, por acción u omisión, incluye otras dos visiones deformadas, que tienen en común olvidar la dimensión de la ciencia como construcción de cuerpos coherentes de conocimientos.

6. Visión exclusivamente analítica

Nos referiremos, en primer lugar, a lo que hemos denominado visión "exclusivamente analítica", que está asociada a una incorrecta apreciación del papel del análisis en el proceso científico:

Propuesta de trabajo

Consideremos el papel del análisis en la actividad científica,

contemplando sus ventajas y peligros.

Señalemos, para empezar, que una característica esencial de una aproximación científica es la voluntad explícita de simplificación y de control riguroso en condiciones preestablecidas, lo que introduce elementos de artificialidad indudables, que no deben ser ignorados ni ocultados: los científicos *deciden* abordar problemas resolubles y comienzan, para ello, *ignorando* consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas, lo que evidentemente les "aleja" de la realidad; y continúan alejándose mediante lo que, sin duda, hay que considerar la esencia del trabajo científico: la *invención* de hipótesis y modelos...

El trabajo científico exige, pues, tratamientos analíticos, simplificatorios, artificiales. Pero ello no supone, como a veces se critica, incurrir necesariamente en visiones parcializadas

y simplistas: en la medida en que se trata de análisis y simplificaciones conscientes, se tiene presente la necesidad de síntesis y de estudios de complejidad creciente. Pensemos, por ejemplo, que el establecimiento de la unidad de la materia –que constituye un claro apoyo a una visión global, no parcializada– es una de las mayores conquistas del desarrollo científico de los últimos siglos: los principios de conservación *y transformación* de la materia y de la energía fueron establecidos, respectivamente, en los siglos XVIII y XIX, y fue sólo a fines del XIX cuando se produjo la fusión de tres dominios aparentemente autónomos –electricidad, óptica y magnetismo– en la teoría electromagnética, abriendo un enorme campo de aplicaciones que sigue revolucionando nuestra vida diaria. Y no hay que olvidar que estos procesos de unificación han exigido, a menudo, actitudes críticas nada cómodas, que han tenido que vencer fuertes resistencias ideológicas e incluso persecuciones y condenas, como en los casos, bien conocidos, del heliocentrismo o del evolucionismo. La historia del pensamiento científico es una constante confirmación de que los avances tienen lugar *profundizando* en el conocimiento de la realidad en campos definidos, acotados; es esta profundización inicial la que permite llegar posteriormente a establecer lazos entre campos aparentemente desligados (Gil-Pérez et al., 1991).

7. Visión acumulativa, de crecimiento lineal

Una deformación a la que tampoco suelen hacer referencia los equipos docentes y que es la segunda menos mencionada en la literatura –tras la visión exclusivamente analítica– consiste en presentar el desarrollo científico como fruto de un crecimiento lineal, puramente acumulativo (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999), ignorando las crisis y las remodelaciones profundas, fruto de procesos complejos que no se dejan ahormar por ningún modelo definido de desarrollo científico (Giere, 1988; Estany, 1990). Esta deformación es complementaria, en cierto modo, de lo que hemos denominado visión rígida, algorítmica, aunque deben ser diferenciadas: mientras la visión rígida o algorítmica se refiere a cómo se concibe *la realización de una investigación dada,* la visión acumulativa es una interpretación simplista de *la evolución de los conocimientos científicos, a lo largo del tiempo, como fruto del conjunto de investigaciones* realizadas en determinado campo. Una visión simplista a la que la enseñanza suele contribuir al presentar las teorías hoy aceptadas sin mostrar el proceso de su establecimiento, ni referirse a las frecuentes confrontaciones entre teorías rivales, ni a los complejos procesos de cambio, que incluyen auténticas "revoluciones científicas" (Kuhn, 1971)"

8. Relaciones entre las distintas visiones deformadas de la actividad científica y tecnológica

Éstas son, en síntesis, las siete grandes deformaciones que hemos visto tratadas en la literatura y que son mencionadas como fruto de la reflexión (auto)crítica de los equipos docentes. Se trata también de las deformaciones que hemos visto reflejadas en la docencia habitual, en un estudio detenido que ha utilizado cerca de 20 diseños experimentales (Fernández et al., 2002). Pero estas deformaciones no constituyen una especie de "siete pecados capitales" distintos y autónomos; por el contrario, al igual que se ha mostrado en el caso de las preconcepciones de los estudiantes en un determinado dominio (Driver y Oldham, 1986), forman un esquema conceptual relativamente integrado.

Propuesta de trabajo

Indiquemos posibles relaciones entre las visiones deformadas de la ciencia y tecnología que hemos analizado y que caracterizan, en su conjunto, una imagen ingenua de la ciencia, aceptada socialmente.

Podemos recordar que una visión individualista y elitista de la ciencia, por ejemplo, apoya implícitamente la idea empirista de "descubrimiento" y contribuye, además, a una lectura descontextualizada, socialmente neutra, de la actividad científica (realizada por "genios" solitarios). Del mismo modo, por citar otro ejemplo, una visión rígida, algorítmica, exacta, de la ciencia refuerza una interpretación acumulativa, lineal, del desarrollo científico, ignorando las crisis y las revoluciones científicas.

Así pues, estas concepciones aparecen asociadas entre sí como expresión de una imagen ingenua de la ciencia que se ha ido decantando, pasando a ser socialmente aceptada. De hecho, esa imagen tópica de la ciencia parece haber sido asumida incluso por numerosos autores del campo de la educación, que critican como características de la ciencia lo que no son sino visiones deformadas de la misma. Así, por ejemplo, Kemmis y McTaggert (Hodson, 1992) atribuyen a la investigación académica deformaciones y reduccionismos que los autores dan por sentado que corresponden al "método científico" utilizado por "las ciencias naturales", tales como su carácter "neutral", su preocupación exclusiva por "acumular conocimientos" (sin atención a "la mejora de la práctica"), su limitación a "un mero procedimiento de *resolución* de problemas" (olvidando el *planteamiento* de los mismos), etc.

Incluso entre algunos investigadores en didáctica de la ciencia parece aceptarse que la ciencia clásica sería puramente analítica, "neutra", etc. Ya no se trata de que la enseñanza haya transmitido esas concepciones reduccionistas, empobrecedoras, sino que toda la ciencia clásica tendría esos defectos.

Pero, ¿cómo se puede afirmar que la ciencia clásica es –como suele decirse– puramente analítica, si su primer edificio teórico significó la integración de dos universos considerados esencialmente distintos, derribando la supuesta barrera entre el mundo celeste y el sublunar? Una integración, además, que implicaba desafiar dogmas, tomar partido por la libertad de pensamiento, correr riesgos de condenas.

Y no es sólo la mecánica: toda la ciencia clásica puede interpretarse como la superación de supuestas barreras, la integración de dominios separados (por el sentido común y por los dogmas). Pensemos en la teoría de la evolución de las especies; en la síntesis orgánica (¡en el siglo XIX todavía se sostenía la existencia de un "elan vital" y se negaba la posibilidad de sintetizar compuestos orgánicos!); en el electromagnetismo, que mostró los vínculos entre electricidad, magnetismo y óptica; en los principios de conservación y transformación de la masa y de la energía, aplicables a cualquier proceso (Gil-Pérez et al., 1991). ¿Dónde está el carácter puramente analítico? ¿Dónde está el carácter neutro, aséptico, de esa ciencia? Hay que reconocer que, al menos, no toda la ciencia clásica ha sido así. Parece más apropiado, pues, hablar de visiones (o, en todo caso, tendencias) deformadas de la ciencia, que atribuir esas características a toda la ciencia clásica.

Las concepciones docentes sobre la naturaleza de la ciencia y la construcción del conocimiento científico serían, pues, expresión de esa visión común, que los profesores de ciencias aceptaríamos implícitamente debido a la falta de reflexión crítica y a una

educación científica que se limita, a menudo, a una simple transmisión de conocimientos ya elaborados. Ello no sólo deja en la sombra las características esenciales de la actividad científica y tecnológica, sino que contribuye a reforzar algunas deformaciones, como el supuesto carácter "exacto" (ergo dogmático) de la ciencia, o la visión aproblemática. De este modo, la imagen de la ciencia que adquirimos los docentes no se diferenciaría significativamente de la que puede expresar cualquier ciudadano y resulta muy alejada de las concepciones actuales acerca de la naturaleza de la ciencia y de la construcción del conocimiento científico.

El trabajo realizado hasta aquí nos ha permitido sacar a la luz, a título de hipótesis, posibles visiones deformadas de la ciencia que la enseñanza podría estar contribuyendo a transmitir por acción u omisión. Las numerosas investigaciones recogidas en la literatura confirman la extensión de esta imagen distorsionada y empobrecida de la ciencia y la tecnología, así como la necesidad de superarla para hacer posible una educación científica susceptible de interesar a los estudiantes y de facilitar su inmersión en una cultura científica. Con tal propósito, dedicaremos el siguiente apartado a afianzar el cuestionamiento de estas deformaciones.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LAS VISIONES DEFORMADAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LA ENSEÑANZA

Tal como hemos indicado, dedicaremos este apartado a analizar en qué medida la enseñanza de las ciencias transmite las visiones deformadas que acabamos de discutir.

Propuesta de trabajo

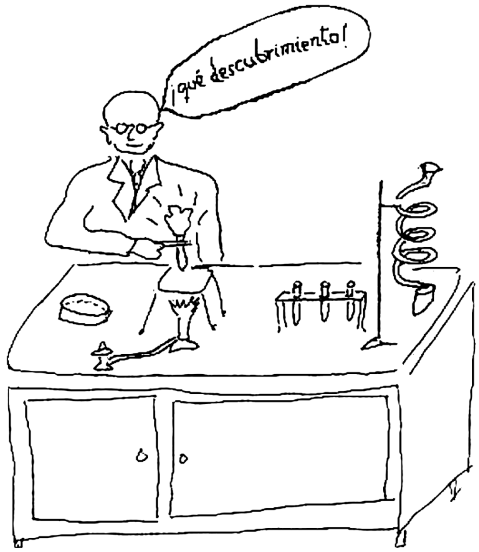
Sugiramos algunos diseños para analizar la posible transmisión de visiones deformadas de la ciencia y la tecnología por la enseñanza.

Son posibles numerosos diseños para llevar a cabo dicho análisis, como se detalla en algunos trabajos citados (Fernández, 2000; Fernández et al., 2002). Por ejemplo, es posible analizar lo que en los textos, libros, artículos, etc., se señala en torno a la naturaleza del trabajo científico. O lo que reflejan los diagramas de un proceso de investigación que incluyen algunos textos y libros de prácticas. Se puede recoger, mediante cuestionarios y entrevistas, lo que para los profesores significa un proceso de investigación, etc. O se puede proceder a observaciones directas de cómo se orienta el trabajo en el aula, etc.

Nuestra intención aquí, sin embargo, no es, fundamentalmente, poner de relieve la incidencia de una imagen deformada y empobrecida de la ciencia en la enseñanza (puesta en evidencia por una abundante investigación, a la que hemos ido haciendo referencia), sino utilizar este trabajo de análisis para profundizar en la comprensión de lo que representan estas visiones distorsionadas de la actividad científica y afianzar el necesario distanciamiento crítico respecto de dichas deformaciones. Pasamos, pues, a poner en práctica algunos de estos diseños.

Propuesta de trabajo

Señalemos las visiones deformadas que, por acción u omisión, se aprecian en el dibujo que se proporciona, elaborado por un profesor en formación como representación de la actividad científica. Modifiquémoslo, seguidamente, hasta lograr que salga al paso de las visiones deformadas de la ciencia que ahora transmite por acción u omisión.



No resulta difícil constatar que este dibujo "típico" incide claramente en las siguientes visiones deformadas:

- *Individualista y elitista* (representa un único investigador, varón, ...).
- *Descontextualizada* (no se dice nada acerca del posible interés y relevancia de la investigación, sus posibles repercusiones... y el lugar de trabajo parece una auténtica torre de marfil absolutamente aislada... ¡ni siquiera se dibuja una ventana!).
- *Aproblemática* (no se indica que se esté investigando algún problema).
- *Empiro-inductivista* (su actividad parece reducirse a la observación y experimentación en busca del descubrimiento feliz... no se representa ni un libro que permita pensar en el cuerpo de conocimientos).

Poco más puede decirse de lo que *aparece* en el dibujo, pero sí de las *ausencias*, que vienen a incidir, *por omisión*, en otras visiones deformadas:

- *Rígida, algorítmica, infalible* (nada se dice, por ejemplo, de posibles revisiones y replanteamientos de la investigación).

- *Exclusivamente analítica* (no se plantea la posible vinculación del problema abordado a diferentes campos de la ciencia, ni la conveniencia de un tratamiento interdisciplinar...).
- *Acumulativa* (ninguna mención de cómo el nuevo "descubrimiento" afecta al cuerpo de conocimientos...).

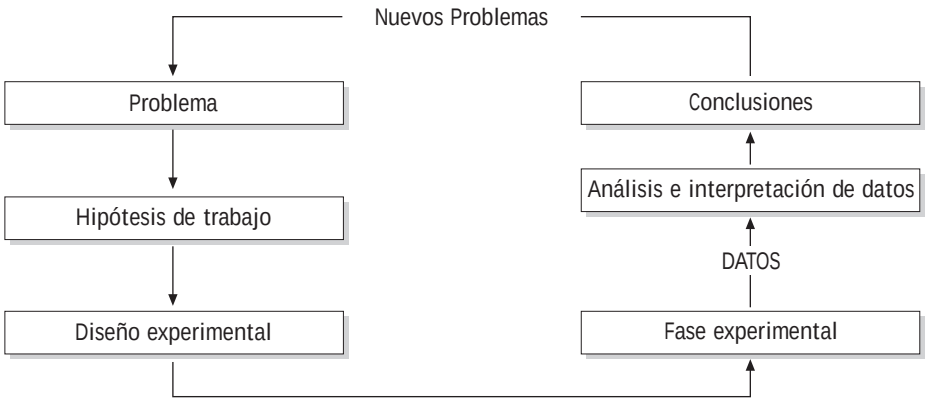
Es posible, sin embargo, salir al paso de estas deformaciones con relativa facilidad. Por ejemplo, se puede agregar algún investigador más, incluyendo algunas mujeres y jóvenes investigadores en formación, cuestionando así las visiones individualistas y elitistas. Y se puede cuestionar la visión rígida con algún comentario acerca de las numerosas revisiones, dibujando una papelera de la que desborden papeles arrugados. Y de la visión acumulativa con una exclamación del tipo "¡Si se confirman estos resultados será necesario revisar la teoría vigente!", etc.

Es importante detenerse en análisis y rectificaciones como éstos. Podemos, por ejemplo, plantear esta otra actividad:

Propuesta de trabajo

Analicemos críticamente el diagrama de flujo que se proporciona, que aparece en un libro de texto como representación del "Método Científico". Modifiquemos a continuación dicho diagrama para representar las estrategias del trabajo científico, intentado evitar las visiones deformadas de la ciencia que ahora transmite por acción u omisión.

Belmonte Nieto, M., 1987. AKAL



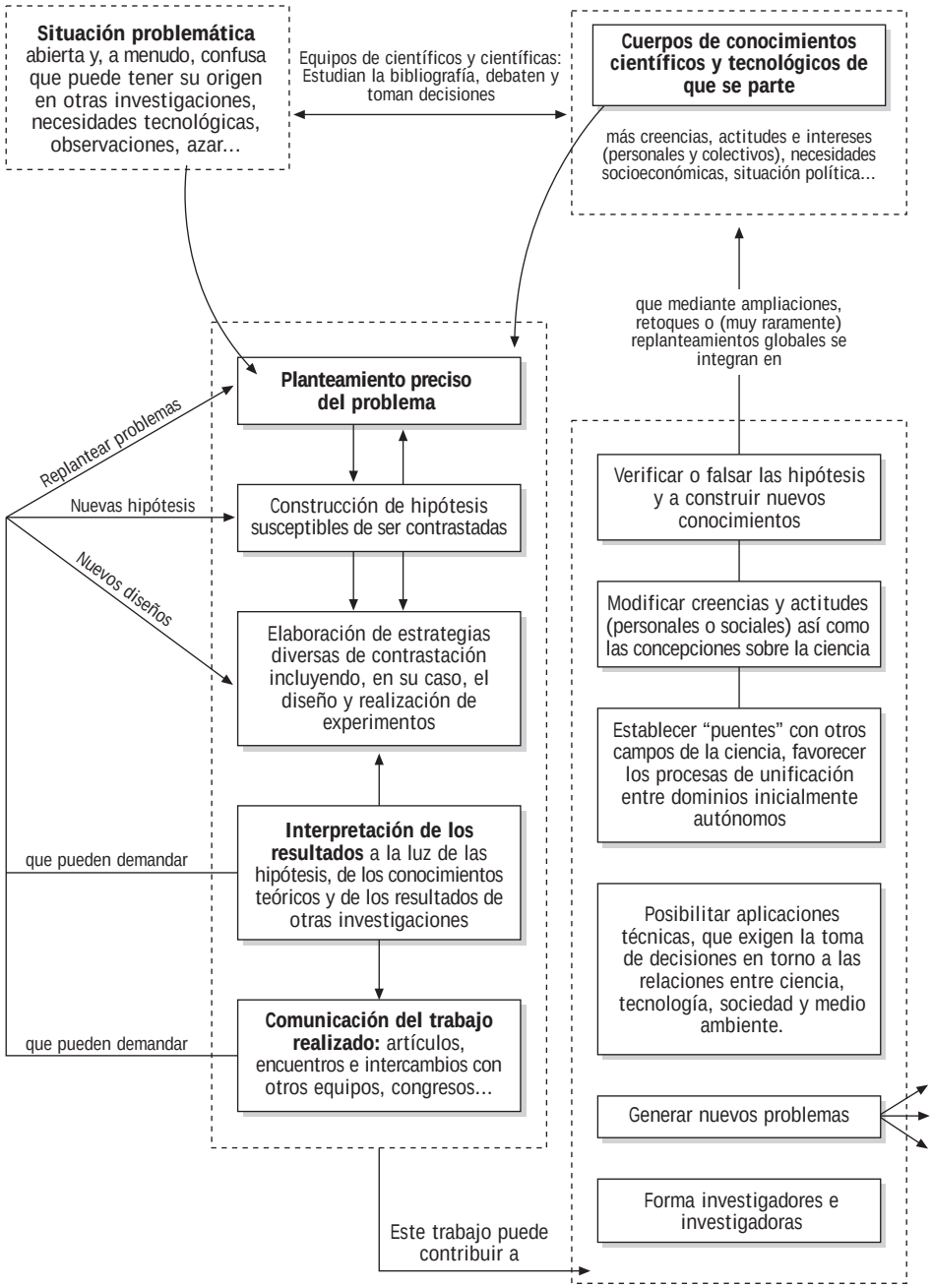
De nuevo resulta fácil detectar bastantes de las distorsiones y empobrecimientos típicos en un diagrama como éste: desde el carácter rígido, algorítmico, de etapas a seguir ordenadamente, a la visión descontextualizada, aunque al menos se hace referencia a un problema como origen de la investigación.

Un esfuerzo explícito por no incurrir en estas deformaciones permite elaborar diagramas más ricos, como el que se muestra a continuación.

Una lectura cuidadosa permite constatar cómo los autores han evitado incurrir, por acción u omisión, en los reduccionismos y distorsiones típicos. Podemos ver, por ejemplo, cómo se sale al paso de visiones individualistas y elitistas con las referencias a "equipos de científicos y científicas", a la "comunicación del trabajo realizado: artículos, encuentros e intercambios con otros equipos, congresos…" y a la formación de investigadores e investigadoras como una de las contribuciones del trabajo científico. Y, por citar otros ejemplos, se evita transmitir una visión puramente analítica señalando que las investigaciones realizadas *pueden* contribuir a "establecer 'puentes' con otros campos de la ciencia y favorecer los procesos de unificación entre dominios inicialmente autónomos".

UN DIAGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Representación esquemática de un proceso abierto sin reglas ni etapas rígidas



Para terminar el análisis de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología en la enseñanza, proponemos la siguiente actividad, que da paso a la elaboración de propuestas para evitar dichas deformaciones, con una aproximación a una descripción más adecuada de la actividad científica y tecnológica:

Propuesta de trabajo

Analicemos la visión de la ciencia que transmite el texto que se proporciona (tomado de un libro universitario), indicando las visiones deformadas en las que incurre por acción u omisión y elaboremos un texto alternativo que describa más adecuadamente la naturaleza de la actividad científica.

PARRY, R. W., STEINER, L. E., TELLEFSEN, R. L. y DIETZ, P. M. (1973). *Química. Fundamentos experimentales*. Barcelona: Ed. Reverté.

"Resumiendo, las actividades básicas de la ciencia son:

(1) acumulación de información mediante la observación,

(2) organización de esta información y búsqueda de regularidades,

(3) búsqueda de una explicación de las regularidades, y

(4) comunicación de los resultados y de las probables explicaciones.

Para la realización de estas actividades no existe un orden prefijado, no hay un "método científico", que exija que se sigan estrictamente los pasos indicados en ese orden. En realidad, cuando se trata de buscar una explicación, aparece generalmente la necesidad de realizar observaciones mejor controladas. Una secuencia de observaciones cuidadosamente controladas suelen denominarse frecuentemente experimento. En el caso de los experimentos de química, las condiciones se controlan más fácilmente en el laboratorio, pero el estudio de la naturaleza no debiera limitarse al que puede realizarse en un local cerrado, porque la ciencia nos rodea completamente".

Podemos empezar señalando que dicho texto intenta evitar una visión rígida de la actividad científica cuando señala: "Para la realización de estas actividades no existe un orden prefijado, no hay un 'método científico' que exija que se sigan estrictamente los pasos indicados en ese orden".

También se tiene en cuenta el carácter social de la ciencia al hablar de "comunicación", aunque no se cuestiona con claridad la visión individualista y elitista. Con muy buena voluntad se puede aceptar que este texto intenta también salir al paso de una visión descontextualizada en la frase en la que se afirma que "la ciencia nos rodea completamente".

En el resto de las visiones incide, bien por acción (como ocurre con la concepción empiro-inductivista), bien por omisión, puesto que no se menciona nada que permita evitar visiones aproblemáticas, exclusivamente analíticas o de crecimiento lineal, puramente acumulativo, de los conocimientos científicos.

La elaboración de un texto alternativo es, naturalmente, una tarea bastante exigente, para la que se precisa tiempo y una cuidadosa atención para no olvidar ninguna de las posibles deformaciones. A título de ejemplo reproducimos un texto elaborado por los autores de esta unidad didáctica, en el que se recogen las reflexiones tenidas en cuenta en el estudio de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología abordadas en apartados anteriores:

¿QUÉ PODEMOS ENTENDER POR ACTIVIDAD CIENTÍFICA?

Queremos señalar, en primer lugar, que somos conscientes de que la naturaleza de la actividad científica ha dado lugar a serios debates, en los que se manifiestan profundas discrepancias entre los estudiosos (Popper, 1962; Khun, 1971; Bunge, 1976; Toulmin, 1977; Feyerabend, 1975; Lakatos, 1982; Laudan, 1984...). Ello genera, en ocasiones, una cierta perplejidad entre los investigadores en didáctica y lleva a plantear si tiene sentido hablar de una concepción correcta de la ciencia. Existen, sin embargo, algunos aspectos esenciales en los que se da un amplio consenso y que podemos resumir así:

1. En primer lugar hemos de referirnos al **rechazo de la idea misma de "Método Científico"**, con mayúsculas, como conjunto de reglas perfectamente definidas a aplicar mecánicamente e independientes del dominio investigado. Con palabras de Bunge (1980): "La expresión (*Método Científico*) es engañosa, pues puede inducir a creer que consiste en un conjunto de recetas exhaustivas e infalibles...".

2. En segundo lugar hay que resaltar el rechazo generalizado de lo que Piaget (1970) denomina "el mito del origen sensorial de los conocimientos científicos", es decir, el **rechazo de un empirismo que concibe los conocimientos como resultado de la inferencia inductiva a partir de "datos puros"**. Esos datos no tienen sentido en sí mismos, sino que requieren ser interpretados de acuerdo con un sistema teórico. Así, p.e., cuando se utiliza un amperímetro no se observa la intensidad de una corriente, sino la simple desviación de una aguja. Se insiste, por ello, en que toda investigación y la misma búsqueda de datos vienen marcadas por paradigmas teóricos, es decir, por visiones coherentes, articuladas, que orientan dicha investigación.

   Es preciso insistir en la importancia de los paradigmas conceptuales, de las teorías, como origen y término del trabajo científico (Bunge 1976), en un proceso complejo que incluye eventuales rupturas, cambios revolucionarios del paradigma vigente en un determinado dominio y surgimiento de nuevos paradigmas teóricos. Y es preciso también insistir en que los problemas científicos constituyen inicialmente "situaciones problemáticas" confusas: el problema no viene dado, siendo necesario formularlo de manera precisa, modelizando la situación, haciendo determinadas opciones de cara a simplificarlo más o menos para poder abordarlo, clarificando el objetivo, etc. Y todo esto partiendo del corpus de conocimientos que se posee en el campo específico en que se realiza la investigación.

3. En tercer lugar hay que **resaltar el papel jugado en la investigación por el pensamiento divergente**, que se concreta en aspectos fundamentales y erróneamente relegados en los planteamientos empiristas, como son la invención de hipótesis y modelos, o el propio diseño de experimentos. No se razona, pues, en términos de certezas más o menos basadas en "evidencias", sino en términos de hipótesis, que se apoyan, es cierto, en los conocimientos adquiridos, pero que son contempladas como simples "tentativas de respuesta" que han de ser puestas a prueba lo más rigurosamente posible. Y si bien la obtención de evidencia experimental en condiciones definidas y controladas ocupa un lugar central en la investigación científica, es preciso relativizar dicho papel, que sólo cobra sentido con relación a la hipótesis a contrastar y a los diseños concebidos a tal efecto. En palabras de Hempel (1976), "al conocimiento científico

no se llega aplicando un procedimiento inductivo de inferencia a datos recogidos con anterioridad, sino más bien mediante el llamado método de las hipótesis a título de intentos de respuesta a un problema en estudio y sometiendo luego éstas a la contrastación empírica". Son las hipótesis, pues, las que orientan la búsqueda de datos. Unas hipótesis que, a su vez, nos remiten al paradigma conceptual de partida, poniendo de nuevo en evidencia el error de los planteamientos empiristas.

4. Otro punto fundamental es la **búsqueda de coherencia global** (Chalmers, 1990). El hecho de trabajar en términos de hipótesis introduce exigencias suplementarias de rigor: es preciso dudar sistemáticamente de los resultados obtenidos y de todo el proceso seguido para obtenerlos, lo que conduce a revisiones continuas, a intentar obtener esos resultados por caminos diversos y, muy en particular, a mostrar su coherencia con los resultados obtenidos en otras situaciones. Es necesario llamar aquí la atención contra las interpretaciones simplistas de los resultados de los experimentos y contra un posible "reduccionismo experimentalista": no basta con un tratamiento experimental para falsar o verificar una hipótesis; se trata sobre todo de la existencia, o no, de coherencia global con el marco de un corpus de conocimientos.

   De hecho, uno de los fines más importantes de la ciencia estriba en la vinculación de dominios aparentemente inconexos. En efecto, en un mundo en el que lo primero que se percibe es la existencia de una gran diversidad de materiales y de seres, sometidos a continuos cambios, la ciencia busca establecer leyes y teorías generales que sean aplicables al estudio del mayor número posible de fenómenos. La teoría atómico molecular de la materia, la síntesis electromagnética, los principios de conservación y transformación, los esfuerzos que se realizan para unificar los distintos tipos de interacción existentes en la naturaleza, etc., son buenos ejemplos de esa búsqueda de coherencia y globalidad, aunque ello se deba realizar partiendo de problemas y situaciones particulares inicialmente muy concretas. El desarrollo científico, pues, entraña la finalidad de establecer generalizaciones aplicables a la naturaleza. Precisamente esa exigencia de aplicabilidad, de funcionamiento correcto para describir fenómenos, realizar predicciones, abordar y plantear nuevos problemas, etc., es lo que da validez (que no certeza o carácter de verdad indiscutible) a los conceptos, leyes y teorías que se elaboran.

5. Por último, es preciso **comprender el carácter social del desarrollo científico**, lo que se evidencia no sólo en el hecho de que el punto de partida del paradigma teórico vigente es la cristalización de las aportaciones de generaciones de investigadores, sino también en que la investigación responde cada vez más a estructuras institucionalizadas (Bernal, 1967; Kuhn, 1971; Matthews, 1991 y 1994) en las que la labor de los individuos es orientada por las líneas de investigación establecidas, por el trabajo del equipo del que forman parte, careciendo prácticamente de sentido la idea de investigación completamente autónoma. Más aún, el trabajo de los hombres y mujeres de ciencias –como cualquier otra actividad humana– no tiene lugar al margen de la sociedad en que viven, y se ve afectado, lógicamente, por los problemas y circunstancias del momento histórico, del mismo modo que su acción tiene una clara influencia sobre el medio físico y social en que se inserta. Señalar esto puede parecer superfluo; sin embargo, la idea de que hacer ciencia es poco menos que una tarea de "genios solitarios" que se encierran en una torre de marfil, desconectando de la realidad, constituye una imagen tópica muy extendida y que la enseñanza, lamentablemente, no ayuda a superar, dado que se limita a la transmisión de contenidos conceptuales y, a lo sumo, entrenamiento en alguna destreza, pero dejando de lado los aspectos históricos, sociales... que enmarcan el desarrollo científico.

   Se dibuja así una imagen imprecisa, nebulosa, de la metodología científica –lejos de toda idea de algoritmo– en la que nada garantiza que se llegará a un buen resultado, pero que representa, sin duda, la mejor forma de orientar el tratamiento de un problema científico (como atestiguan los impresionantes edificios teóricos construidos).

   Puede decirse, en síntesis, que la esencia de la orientación científica –dejando de lado toda idea de "método"– se encuentra en el cambio de un pensamiento y acción basados en las "evidencias"

del sentido común, a un razonamiento en términos de hipótesis, a la vez más creativo (es necesario ir más allá de lo que parece evidente e imaginar nuevas posibilidades) y más riguroso (es necesario fundamentar y después someter a prueba, cuidadosamente, las hipótesis, dudar de los resultados y buscar la coherencia global).

Es preciso tener presente, por otra parte, que una característica esencial de una aproximación científica es la voluntad explícita de simplificación y de control riguroso en condiciones preestablecidas, lo que introduce elementos de artificialidad indudables, que no deben ser ignorados ni ocultados: los científicos *deciden* abordar problemas resolubles y comienzan, para ello, *ignorando* consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas, lo que evidentemente les "aleja" de la realidad; y continúan alejándose mediante lo que, sin duda, hay que considerar la esencia del trabajo científico: la *invención* de hipótesis, la construcción de modelos *imaginarios*. El trabajo científico exige, pues, tratamientos analíticos, simplificatorios, artificiales. Pero ello no supone, como a veces se critica, incurrir necesariamente en visiones parcializadas y simplistas: en la medida en que se trata de análisis y simplificaciones conscientes, se tiene presente la necesidad de síntesis y de estudios de complejidad creciente. Pensemos, por ejemplo, que el establecimiento de la unidad de la materia –que constituye un claro apoyo a una visión global, no parcializada– es una de las conquistas mayores del desarrollo científico de los últimos siglos: los principios de conservación *y transformación* de la materia y de la energía fueron establecidos, respectivamente, en los siglos XVIII y XIX, y fue sólo a fines del XIX que se produjo la fusión de tres dominios aparentemente autónomos –electricidad, óptica y magnetismo– en la teoría electromagnética, abriendo un enorme campo de aplicaciones que sigue revolucionando nuestra vida diaria. Y no hay que olvidar que estos procesos de unificación han exigido, a menudo, actitudes críticas nada cómodas, que han tenido que vencer fuertes resistencias ideológicas e incluso persecuciones y condenas, como en los casos, bien conocidos, del heliocentrismo o del evolucionismo. La historia del pensamiento científico es una constante confirmación de que ésta es la forma de hacer ciencia, *profundizando* en el conocimiento de la realidad en campos definidos, acotados; es esta profundización la que permite, posteriormente, llegar a establecer lazos entre campos aparentemente desligados.

La idea de "método científico", en resumen, ha perdido hoy sus mayúsculas, es decir, su supuesta naturaleza de camino preciso –conjunto de operaciones ordenadas– e infalible, así como su supuesta neutralidad. Ello no supone, sin embargo, negar lo que de específico ha aportado la ciencia moderna al tratamiento de los problemas: la ruptura con un pensamiento basado en estudios puntuales, en las "evidencias" del sentido común y en seguridades dogmáticas, introduciendo un razonamiento que se apoya en un sistemático cuestionamiento de lo obvio y en una exigencia de coherencia global que se ha mostrado de una extraordinaria fecundidad.

El análisis del texto anterior permite constatar, una vez más, que es perfectamente posible evitar las visiones deformadas que la enseñanza de las ciencias suele transmitir por acción u omisión. De hecho, estas actividades de análisis crítico y de elaboración de productos alternativos terminan de afianzar una concepción más adecuada de la ciencia, y permiten comprender que la extensión de las visiones deformadas es el resultado de la ausencia casi absoluta de reflexión epistemológica y de la aceptación acrítica de una enseñanza por simple transmisión de conocimientos ya elaborados que contribuye, como hemos ido mostrando, a afianzar dichas deformaciones. Basta, sin embargo, una reflexión crítica como la que estamos favoreciendo para apropiarse, con relativa facilidad, de concepciones de la actividad científica y tecnológica más adecuadas. Pero, ¿merece realmente la pena todo este esfuerzo de clarificación? Nos detendremos ahora en la consideración de sus implicaciones.

ALGUNAS IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Lograr una mejor comprensión de la actividad científica tiene, en sí mismo, un indudable interés, en particular para quienes somos responsables, en buena medida, de la educación científica de futuros ciudadanos de un mundo impregnado de ciencia y tecnología. Conviene recordar, sin embargo, que, como señalan Guilbert y Meloche (1993), "una mejor comprensión por los docentes de los modos de construcción del conocimiento científico (...) no es únicamente un debate teórico, sino eminentemente práctico". Se trata, pues, de comprender la importancia práctica, para la docencia, del trabajo realizado y poder sacar un mayor provecho del mismo, preguntándonos *qué es lo que queremos potenciar* en el trabajo de nuestros alumnos y alumnas.

Propuesta de trabajo

Elaboremos una red o "parrilla" para orientar el diseño de actividades (o para facilitar su análisis), cuyos ítems recojan todos aquellos aspectos que consideremos conveniente contemplar para no caer en visiones distorsionadas de la ciencia que dificultan el aprendizaje y generan actitudes negativas.

El trabajo de clarificación realizado nos permite alejarnos de los habituales reduccionismos e incluir aspectos que no sólo son esenciales en una investigación científica, sino que resultan imprescindibles para favorecer un aprendizaje realmente significativo, no memorístico, de las ciencias (Ausubel, 1968). En efecto, como diversas líneas de investigación han mostrado, un aprendizaje significativo y duradero se ve facilitado por la participación de los estudiantes en la construcción de conocimientos científicos y su familiarización con las destrezas y actitudes científicas (Gil-Pérez, 1993), tales como los que se recogen, a modo de recapitulación, en el **cuadro 1.**

Cuadro 1.

Aspectos a incluir en un currículo de ciencias para favorecer la construcción de conocimientos científicos

1. ¿Se presentan **situaciones problemáticas abiertas** (con objeto de que los alumnos puedan tomar decisiones para precisarlas) de un nivel de dificultad adecuado (correspondiente a su *zona de desarrollo próximo*)?

2. ¿Se plantea una reflexión sobre el posible **interés de las situaciones** propuestas que dé sentido a su estudio (considerando su relación con el programa general de trabajo adoptado, las posibles implicaciones CTSA...)?

¿Se presta atención, en general, a potenciar las actitudes positivas y a que el trabajo se realice en un **clima próximo a lo que es una investigación colectiva** (situación en la que las opiniones, intereses, etc., de cada individuo cuentan) y no en un clima de sometimiento a tareas impuestas por un profesor/"capataz"?

¿Se procura evitar toda discriminación (por razones étnicas, sociales...) y, en particular, el uso de un lenguaje sexista, transmisor de expectativas negativas hacia las mujeres?

3. ¿Se plantea un **análisis cualitativo**, significativo, que ayude a comprender y a acotar las situaciones planteadas (a la luz de los conocimientos disponibles, del interés del problema, etc.) y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca?

¿Se muestra, por otra parte, el papel esencial de las matemáticas como instrumento de investigación, que interviene desde la formulación misma de problemas al análisis de los resultados, sin caer en operativismos ciegos?

4. ¿Se plantea la **emisión de hipótesis,** fundamentadas en los conocimientos disponibles, susceptibles de orientar el tratamiento de las situaciones y de hacer explícitas, funcionalmente, las preconcepciones?

¿Se presta atención a las **preconcepciones** (que, insistimos, deben ser contempladas como hipótesis)?

¿Se presta atención a la **actualización** de los conocimientos que constituyen **prerrequisitos** para el estudio emprendido?

5. ¿Se plantea la **elaboración de estrategias** (en plural), incluyendo, en su caso, diseños experimentales?

¿Se presta atención a la actividad práctica en sí misma (montajes, medidas...), dando a la **dimensión tecnológica** el papel que le corresponde en este proceso?

¿Se potencia la incorporación de la tecnología actual a los diseños experimentales (ordenadores, electrónica, automación...), con objeto de favorecer una visión más correcta de la actividad científico-técnica contemporánea?

6. ¿Se plantea el **análisis detallado de los resultados** (su interpretación física, fiabilidad, etc.) a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, de las hipótesis manejadas y/o de los resultados de otros equipos?

¿Se plantea una reflexión sobre los posibles conflictos entre algunos resultados y las concepciones iniciales (*conflictos cognitivos*), favoreciendo la "autorregulación" del trabajo de los alumnos?

¿Se promueve que los estudiantes cotejen su evolución conceptual y metodológica con la experimentada históricamente por la comunidad científica?

7. ¿Se plantea la consideración de posibles **perspectivas** (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados...)?

¿Se consideran, en particular, las **implicaciones CTSA** del estudio realizado (posibles aplicaciones, repercusiones negativas, toma de decisiones...)?

¿Se pide la elaboración de "productos" (prototipos, colecciones de objetos, carteles,...) poniendo énfasis en la estrecha relación ciencia-tecnología?

8. ¿Se pide **un esfuerzo de integración** que considere la contribución del estudio realizado a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos, las posibles implicaciones en otros campos de conocimientos, etc.?

¿Se pide algún trabajo de construcción de síntesis, mapas conceptuales, etc., que ponga en relación conocimientos diversos?

9. ¿Se presta **atención a la comunicación** como aspecto esencial de la actividad científica?

¿Se plantea la elaboración de **memorias científicas** del trabajo realizado?

¿Se pide la lectura y comentario crítico de textos científicos?

¿Se presta atención a la verbalización, solicitando comentarios significativos que eviten el "operativismo mudo"?

10. ¿Se potencia la **dimensión colectiva del trabajo científico** organizando equipos de trabajo y facilitando la interacción entre los equipos y la comunidad científica (representada en la clase por el resto de los equipos, el cuerpo de conocimientos ya construido, los textos, el profesor como experto...)?

¿Se hace ver, en particular, que los resultados de una sola persona o de un solo equipo no pueden bastar para verificar o falsar una hipótesis?

¿Se contempla (y utiliza) el cuerpo de conocimientos disponible como la cristalización del trabajo realizado por la comunidad científica y la expresión del consenso alcanzado?

El enriquecimiento del currículo de enseñanza de las ciencias que refleja el cuadro 1 es un buen ejemplo de la incidencia positiva que puede tener la clarificación de la naturaleza de la ciencia. Pero contemplar estos aspectos supone mucho más que ampliar el currículo, incluyendo las dimensiones procedimental y axiológica (es decir, relativa a los valores) de la actividad científica, habitualmente olvidadas en la educación.

Propuesta de trabajo

¿Qué cambio radical en el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias puede generar la introducción del conjunto de aspectos señalados en el cuadro 1?

Podríamos decir que la incorporación de aspectos como los que recoge el cuadro 1 exige que el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias deje de estar basado en la transmisión por el profesor y libros de texto de conocimientos ya elaborados para su recepción/asimilación por los estudiantes. Partir de situaciones problemáticas abiertas, discutiendo su posible interés y relevancia, procediendo a aproximaciones cualitativas y a la construcción de soluciones tentativas, hipotéticas, destinadas a ser puestas a prueba y a integrarse, en su caso, en el cuerpo de conocimientos de que se parte, transformándolo, etc., supone *actuar como científicos.* Y ello, a su vez, exige un ambiente adecuado, en el que el profesor impulse y oriente esta actividad de los estudiantes, que de simples receptores pasan a jugar el papel de *investigadores noveles*, que cuentan con el apoyo del profesor como experto (Gil-Pérez et al., 1991).

En síntesis, no es posible superar la imagen reduccionista y distorsionada de la ciencia sin incorporar los aspectos que recoge el cuadro 1, y esa incorporación supone reorientar el trabajo de los estudiantes para aproximarlo a lo que es la actividad científica. Aunque las estrategias de *aprendizaje como investigación e innovación* orientadas aparecen sólidamente fundamentadas por una abundante investigación y suponen un claro avance respecto a las de simple *recepción* de conocimientos transmitidos por el profesor, su introducción tropieza con los lógicos temores que acompañan a las innovaciones radicales. Es preciso, pues, analizar con cuidado sus posibles limitaciones e inconvenientes.

Propuesta de trabajo

Señalen posibles inconvenientes y dificultades de las estrategias que orientan el trabajo de los estudiantes como una construcción de conocimientos mediante la investigación de situaciones problemáticas de interés.

Una pregunta como ésta conduce a formular toda una serie de cuestiones que nos preocupan a los docentes, como las siguientes:

- Un aprendizaje como investigación, ¿no exigirá un tiempo excesivo? (¿no supone una pérdida de tiempo?).
- ¿Hasta qué punto los estudiantes pueden construir unos conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron a notables científicos?
- ¿Por qué insistir en que los alumnos *hagan* ciencia? ¿No sería más razonable limitar los objetivos, en este nivel, al aprendizaje de algunos conocimientos científicos y a la comprensión de la naturaleza de la ciencia?
- ¿Por qué no aceptar una pluralidad de enfoques, con momentos de investigación en el laboratorio (a través de la lectura o de una buena conferencia)?
- ¿Una clase organizada en equipos no escapará al control del profesor? ¿No ahogará a las individualidades?
- ¿Tiene sentido pretender que un profesor o profesora posea todos los conocimientos que se necesitan para este tipo de enseñanza (y, en particular, para la elaboración de los programas de actividades que orienten la investigación)?

Es preciso discutir con cierto detenimiento estas cuestiones para salir al paso de lógicas reticencias. Por ejemplo, para muchos profesores "no tiene sentido suponer que los alumnos, por sí solos, puedan construir todos los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron de los más relevantes científicos". Por supuesto, es difícil no estar de acuerdo en que los alumnos *por sí solos* (?) no pueden construir *todos* (?) los conocimientos científicos. Como señala Pozo (1987), "es bien cierto que muchos de los conceptos centrales de la ciencia son bastantes difíciles de descubrir para la mayor parte –si no para la totalidad– de los adolescentes e incluso de los adultos universitarios". Sin embargo, de aquí no se sigue que se haya de recurrir necesariamente a la transmisión de dichos conocimientos ni que se haya de poner en cuestión las orientaciones constructivistas. En efecto, es bien sabido que cuando alguien se incorpora a un equipo de investigadores, rápidamente puede alcanzar el nivel del resto del equipo. Y ello ***no*** mediante una transmisión verbal, sino abordando problemas en los que quienes actúan de directores/formadores son expertos. La situación cambia, por supuesto, cuando se abordan problemas que son nuevos para todos. El avance –si lo hay– se hace entonces lento y sinuoso. La propuesta de organizar el aprendizaje de los alumnos, como una construcción de conocimientos responde a la primera de las situaciones, es decir, a la de una investigación dirigida, en dominios perfectamente conocidos por el "director de investigaciones" (profesor) y en la que los resultados parciales, embrionarios, obtenidos por los alumnos pueden ser reforzados, matizados o puestos en cuestión por los obtenidos por los científicos que les han precedido. No se trata, pues, de "engañar" a los alumnos, de hacerles creer que los conocimientos se construyen con la aparente facilidad con que ellos los adquieren (Hodson,

1985), sino de colocarles en una situación por la que los científicos habitualmente pasan durante su formación, y durante la que podrán familiarizarse mínimamente con lo que es el trabajo científico y sus resultados, replicando para ello investigaciones ya realizadas por otros, abordando, en definitiva, problemas conocidos por quienes dirigen su trabajo.

El aprendizaje de las ciencias ha de responder a estas características de investigación dirigida. Un trabajo de investigación en el que constantemente se cotejan los resultados de los distintos equipos y se cuenta con la inestimable ayuda de un experto. No creemos necesario insistir aquí en los bien conocidos y documentados argumentos en favor del trabajo en pequeños grupos como forma de incrementar el nivel de participación y la creatividad necesaria para abordar situaciones no familiares y abiertas (Ausubel, 1968; Solomon, 1987; Linn, 1987), como indudablemente son las concebidas para posibilitar la construcción de conocimientos. Sí queremos insistir, por el contrario, en la necesidad de favorecer la máxima interacción entre los grupos, a través de la cual los alumnos pueden asomarse a una característica fundamental del trabajo científico: la insuficiencia de las ideas y resultados obtenidos por un único colectivo y la necesidad de cotejarlos con los obtenidos por otros, hasta que se produzca suficiente evidencia convergente para que la comunidad científica los acepte. Nunca se insistirá bastante, en efecto, en que, por ejemplo, unos pocos resultados experimentales como los que se pueden obtener en un laboratorio escolar no permiten hablar de verificación de hipótesis (Hodson, 1985); de ahí la importancia de los intercambios intergrupos y la participación del profesor como "portavoz de otros muchos investigadores", es decir, de lo que la comunidad científica ha ido aceptando como resultado de un largo y difícil proceso. En este sentido, estamos totalmente de acuerdo con Pozo (1987) cuando afirma que "de lo que se trata es que el alumno construya su propia ciencia 'subido a hombros de gigantes' y no de un modo autista, ajeno al propio progreso del conocimiento científico". No pensamos, sin embargo, que ello se favorezca con "la integración de la enseñanza por descubrimiento y de la enseñanza receptiva" (Pozo, 1987), sino mediante un trabajo colectivo de investigación dirigida, tan alejado del descubrimiento autónomo como de la transmisión de conocimientos ya elaborados (Gil-Pérez, 1983; Millar y Driver, 1987).

Es preciso, pues, ir discutiendo las distintas dificultades o inconvenientes planteados. Así, con relación al tiempo "excesivo" que esta forma de trabajo puede conllevar, cabe reconocer que los programas de actividades han de estar diseñados para que los alumnos se impliquen en los problemas estudiados un tiempo superior al que permiten las estrategias de transmisión/recepción de conocimientos. Pero ese mayor tiempo, no sólo no representa un inconveniente, sino que constituye un factor esencial para que se produzca un auténtico aprendizaje. Se rompe así con la tendencia habitual consistente en programar explicaciones o actividades destinadas a lograr una "fácil comprensión" de los alumnos. Esa comprensión, muy a menudo, es tan sólo aparente y debe ser cuestionada introduciendo nuevas actividades que conduzcan al tratamiento de los problemas desde distintos ángulos con objeto de alcanzar una coherencia global. Dicho de otro modo, es preciso dar a la enseñanza –en contra de lo que suele hacerse– una aspiración científica que cuestione las apariencias de aprendizajes superficiales. Sólo así son concebibles los profundos cambios conceptuales y epistemológicos que el aprendizaje de las ciencias exige.

¿Y qué decir de la preocupación que expresa la pregunta de si tiene sentido pretender que un profesor o profesora posea todos los saberes que implica la orientación del trabajo de los alumnos como investigación? Por supuesto que ello es imposible, pero es la propia pregunta la que carece de sentido. En efecto, a ningún científico se le exige que posea el

conjunto de saberes y destrezas necesarios para el desarrollo científico. Del mismo modo, el trabajo docente tampoco es, o mejor dicho, no debería ser, una tarea aislada, y ningún profesor o profesora ha de sentirse oprimido por un conjunto de saberes que, con toda seguridad, sobrepasan las posibilidades de un ser humano. Lo esencial es que pueda darse un trabajo colectivo de investigación e innovación en todo el proceso de enseñanza/aprendizaje: desde la preparación de las clases a la evaluación. Ello tiene, por supuesto, sus exigencias en lo que respecta a la formación del profesorado y, más aún, en lo que se refiere a sus condiciones de trabajo; pero es algo absolutamente necesario si queremos que la enseñanza y el aprendizaje dejen de ser tareas monótonas y repetitivas, alejadas de toda creatividad.

De hecho, las investigaciones didácticas sobre las conocidas dificultades de muchos estudiantes ante el aprendizaje conceptual o la resolución de problemas de lápiz y papel han conducido, como veremos en los capítulos siguientes, a replanteamientos que son coherentes con la propuesta que aquí estamos avanzando de orientar el aprendizaje como una investigación de equipos de estudiantes con el apoyo del profesor como experto.

Pasaremos ahora, pues, en la segunda parte de este libro/taller, a desarrollar el modelo de aprendizaje de las ciencias que acabamos de esbozar, estudiando, en particular, cómo se integran, *transformándose*, las actividades "clásicas": adquisición de conocimientos teóricos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir del siguiente trabajo:

GIL-PÉREZ, D., FERNÁNDEZ, I., VILCHES, A., CACHAPUZ, A., PRAIA, J., VALDÉS, P. y SALINAS, J. (2004). Questioning and Overcoming Distorted Views of Science: An Essential Requisite for The Renewal of Science Education. En W.F. McComas, (ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies,* Netherlands, Kluwer Academic Publishers. (Segunda edición, pendiente de publicación).

Referencias bibliográficas en este capítulo

ABRAMS, E. y WANDERSEE, J. H. (1995). How to infuse actual scientific research practices into science classroom instruction. *International Journal of Science Education*, 17(6), 683-694.

ACEVEDO, J. A. (1996). La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44.

AUSUBEL, D. P. (1968). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas. Existe una nueva versión en la que han colaborado Novak y Hanesian: AUSUBEL, D. P. NOVAK, J. D. Y HANESIAN, H. (1978). *Educational psychology a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

BACHELARD, G. (1938). *La Formation de L´esprit scientifique.* Paris: Vrin.

BELL, B. F., y PEARSON, J. (1992). Better Learning. *International Journal of Science Education*, 14(3), 349-361.

BERNAL, J. D. (1967). *Historia Social de la Ciencia*. Barcelona: Península.

BUNGE, M. (1976). *Filosofía de la Física*. Barcelona: Ariel.

BUNGE, M. (1980). *Epistemología*. Barcelona: Ariel.

BUNGE, M. (1997). *Ciencia, Técnica y Desarrollo.* Buenos Aires: Juárez Ed.

BYBEE, R. (2000). Achieving Technological Literacy: A National Imperative. *The Technology Teacher*, September 2000, 23-28.

CAJAS, F. (1999). Public Understanding of Science: Using technology to Enhance School Science in Everyday Life. *International Journal of Science Education*, 21(7), 765-773.

CAJAS, F. (2001). Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 243-254.

CHALMERS, A. F. (1990). *Science and its fabrication.* Minneapolis, MP: University of Minnesota Press.

CLEMINSON, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science*, Journal of Research in Science Teaching,* 27(5), 429-445.

DÉSAUTELS, J. y LAROCHELLE, M. (1998). The epistemology of students: The "thingified" nature of scientific knowledge. In Fraser B. y Tobin K. (Eds.), *International Handbook of Science Education,* London: Kluwer Academic Publishers.

DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B. y RUEL, F. (1993). La formation a l'enseignement des sciences: le virage épistémologique*. Didaskalia*, 1, 49-67.

DE VRIES, M. (1996). Technology Education: Beyond the "Technology is Applied Science" Paradigm (Guest Article). *Journal of Technology Education*, 8(1), 7-15.

DRIVER, R. y OLDHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

ESTANY, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Editorial Crítica.

FERNÁNDEZ, I. (2000). Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: Una propuesta de transformación. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València.

FERNÁNDEZ, I., GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, J. y PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.

FEYERABEND, P. (1975). *Against Method.* Londres: Verso. (Existe traducción al castellano en Madrid: Siglo XXI).

FRASER, B. J. y TOBIN, K. G. (1998). *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers.

GABEL, D. L. (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* New York: McMillan.

GARDNER, P. L. (1994). Representations of the relationship between Science and Technology in the curriculum. *Studies in Science Education*, 24, 1-28.

GASKELL, P. J. (1992). Authentic science and school science. *International Journal of Science Education,*14(3), 265-272.

GIERE, R. N. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach.* Chicago: The University of Chicago Press.

GIL-PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 26-33.

GIL-PÉREZ, D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., DUMAS-CARRÉ, A., FURIÓ, C., GALLEGO, N., GENÉ, A., GONZÁLEZ, E., GUISASOLA, J., MARTÍNEZ, J., PESSOA, A., SALINAS, J., TRICÁRICO, H. y VALDÉS, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J. FURIÓ, C.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria.* ICE/universidad de Barcelona. Barcelona: Horsori.

GILBERT, J. K. (1992). The interface between science education and technology education. *International Journal of Science Education*. 14(5), 563-578.

GILBERT, J. K. (1995). Educación tecnológica: una nueva asignatura en todo el mundo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 15-24.

GIORDAN, A. (1978). Observation-Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils? *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73. Traducción española en *Infancia y Aprendizaje*, 1978, número 13.

GUILBERT, L. y MELOCHE, D. (1993). L'idée de science chez des enseignants en formation: un lieu entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions? *Didaskalia*, 2, 7-30.

HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, M. A.: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM; Instituto de Investigaciones Filosóficas, México D. F.: UNAM/ Paidós.

HANSON, N. R. (1958). *Patterns of Discovery. An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de E. García Camarero (1977): *Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*. Madrid: Alianza.

HEMPEL, C. G. (1976). *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza.

HEWSON, P. W., KERBY, H. W. y COOK, P. A. (1995). Determining the conceptions of teaching science held by experienced high school science teachers. *Journal of Research in Science Teaching,* 32(5), 503-520.

HILL, A. (1998). Problem Solving in Real-Life contexts: An Alternative for Design in Technology Education. *International Journal of Technology and Design Education*, 8, 203-220.

HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.

HODSON, D. (1993). Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science: some preliminary findings. *Interchange*, 24 (1/2) 41-52.

HODSON, D. (1994). Seeking Directions for Change. The Personalization and Politisation of Science Education. *Curriculum Studies*, 2(1), 71-98.

IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N. y ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1995). La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal. *Publicación del Departamento de Didáctica de las Ciencias*. Universidad de Extremadura.

KING, B. B. (1991). Beginning Teachers Knowledge of and Attitude Towards History and Philosophy of Science. *Science Education*, 75(1), 135-141.

KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

LAKATOS, I. (1982). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos.

LAKATOS, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial.

LAKIN, S. y WELLINGTON, J. (1994). Who will teach the "nature of science"? Teachers view of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education,* 16(2), 175-190.

LANGEVIN, P. (1926). La valeur éducative de l'histoire des sciences. *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 22. Décembre 1926.

LAUDAN, L. (1984). *Science and values: the aims of science and their role in the scientific debate.* Berkeley: University of California Press.

LINN, M. C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 191-216.

LÓPEZ CUBINO, R. (2001). *El área de Tecnología en Secundaria*. Madrid: Narcea.

MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL-PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS-MARTÍ, A., GUISASOLA, J., LÓPEZ-CEREZO J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.

MATTHEWS, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12**,** 141-155.

MATTHEWS, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual, *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.

McCOMAS, W. F. (1998). The nature of science in science education. Rationales and In W. F. McComas (E.d.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

MEDWAY, P. (1989). Issues in the theory and practice of technology education. *Studies in Science Education*, 16, 1-24.

MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.

MITCHAM, C. (1989). *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona: Anthropos-Servicio Editorial del País Vasco.

MORENO, A. (1988). *Aproximación a la física. Una historia de visionarios, rebeldes y creadores*. Madrid: Mondadori.

MOSTERÍN J. (1990). Prólogo al libro de Estany A., *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Crítica.

NIINILUOTO, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299.

NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal in Science Education*, (11), Special Issue, 530-540.

PERALES, F. J. y CAÑAL, P. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

PIAGET, J. (1970). *La epistemología genética*. Barcelona: Redondo.

POMEROY, D. (1993). Implications of teachers´ beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, 77(3), 261-278.

POPPER, K. R. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.

POZO, J. I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.

QUINTANILLA, M. A. y SÁNCHEZ RON, J. M. (1997). *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Madrid: Santillana.

RODRÍGUEZ, G. D. (1998). Ciencia, Tecnología y Sociedad: Una mirada desde la educación en Tecnología. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 107-143.

ROTH, W. M. y LUCAS, K. B. (1997). From "Truth" to "Invented Reality": A Discourse Analysis of High School Physics Students´ Talk about Scientific Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 34(2), 145-179.

ROTH, W. M. y ROYCHONDHURY, A. (1994). Students´ Epistemologies and Views about Knowing and Learning. *Journal of Research in Science Teaching,* 31(1), 5-30.

SÁNCHEZ RON, J. M. (1994). ¿El conocimiento científico prenda de felicidad? En Nadal J. (Ed.), *El mundo que viene,* 221- 246. Madrid: Alianza.

SALTIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 137-144.

SELLEY, N. J. (1989). The philosophy of school science. *Interchange*, 20(2), 24-32.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1998). Las interacciones CTS en los nuevos textos de secundaria. En Banet, E. y De Pro, A. (Coords.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 1**,** 142-147. Murcia: D. M.

SOLOMON, J. (1987). Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82.

SOLOMON, J., DUVEEN, J. y SCOTT, L. (1994). Pupils´ images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-373.

STINNER, A. (1992). Science textbooks and science teaching: from logic to evidence. *Science Education*, 76(1), 1-16.

THOMAZ, M. F., CRUZ, M. N., MARTINS, I. P. y CACHAPUZ, A. F. (1996). Concepciones de futuros profesores del primer ciclo de primaria sobre la naturaleza de la ciencia: Contribuciones de la formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 315-322.

TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos.* Madrid: Alianza.

TRAVER, M. J. (1996). La història de les ciències en l´ensenyament de la Física i la Química. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València, 1996.

SEGUNDA PARTE

¿CÓMO CONVERTIR EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS EN UNA ACTIVIDAD APASIONANTE?

Tal como hemos señalado, desarrollaremos en esta segunda parte el ***modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés***, cuyas bases hemos establecido en el capítulo 2, como vía de superación de las visiones deformadas y empobrecidas de la ciencia y la tecnología, y como requisito para lograr un mejor aprendizaje y un mayor interés de los estudiantes hacia la ciencia y su estudio.

Dada la importancia que en toda investigación –y, por tanto, también en el modelo de aprendizaje como investigación– tienen sus inicios, dedicaremos un primer capítulo a "cómo empezar" (capítulo 3).

A continuación, abordaremos cómo se integran en dicho modelo, transformadas, las actividades consideradas básicas: las prácticas de laboratorio (capítulo 4), la resolución de problemas de lápiz y papel (capítulo 5) y el aprendizaje de conceptos y teorías (capítulo 6).

Dedicaremos igualmente otro capítulo al trabajo esencial de recapitulación y establecimiento de perspectivas (capítulo 7), evitando así, entre otras concepciones erróneas, la de "tarea acabada" que los textos suelen transmitir al finalizar los sucesivos capítulos.

Por último, dedicaremos un capítulo al análisis crítico de las prácticas evaluativas habituales y a la reorientación de la evaluación como instrumento básico de una educación científica satisfactoria para los estudiantes, los docentes y la sociedad (capítulo 8).

Podría pensarse que entre estos aspectos clave debería haberse incluido un capítulo destinado al papel de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC), en la renovación de la educación científica para el siglo XXI. Conviene, pues, que justifiquemos su ausencia.

Reconocemos, claro está, que la *utilización* de las nuevas tecnologías en la enseñanza está plenamente justificada, puesto que uno de los objetivos básicos de la educación ha de ser la preparación de los adolescentes para ser ciudadanos de una sociedad plural, democrática y tecnológicamente avanzada o, cabría matizar, que aspire a serlo. En ese sentido, por ejemplo, el *International Handbook in Science Education* le dedica toda una sección (McFarlane y Friedler, 1998; Schecker, 1998; Spitulnick et al., 1998).

Son bien conocidas las posibilidades que los ordenadores ofrecen para recabar gran cantidad de informaciones y contrastarlas, para proporcionar rápida retroalimentación, para simular y visualizar situaciones (Lowe, 1996)... o, en otro orden de cosas, para conectar con el interés que los nuevos medios despiertan en los alumnos (Songer, 1998). Merece la pena, pues, resaltar la utilización de los ordenadores como un valioso recurso didáctico. Por otro lado, resulta imprescindible, si pretendemos proporcionar una visión actualizada de la actividad científica, la incorporación de los cambios metodológicos originados por la utilización de los ordenadores (Valdés y Valdés, 1994; Gil-Pérez y Valdés, 1995), en particular como instrumentos de obtención y tratamiento de datos experimentales (Millot, 1996) o de realización de experimentos con modelos matemáticos.

Consideramos necesario, sin embargo, llamar la atención contra visiones simplistas que ven en el uso de las nuevas tecnologías el fundamento de renovaciones radicales de la enseñanza/aprendizaje. La prensa se hace eco, con frecuencia, de la "revolución informática en la enseñanza" o de la "muerte del profesor" (a manos del ordenador) y se contempla la introducción de la informática como una posible solución a los problemas de la enseñanza, como una auténtica tendencia innovadora. A ello contribuye –como ha denunciado McDermott (1990)– una publicidad agresiva cuya atractiva presentación dificulta, a menudo, una apreciación objetiva de las ofertas. Es preciso llamar la atención contra estas expectativas, que terminan generando frustración, lo que ya ha ocurrido en otras ocasiones, puesto que la búsqueda de *la* solución en las "nuevas tecnologías" tiene una larga tradición y ya fue acertadamente criticada por Piaget (1969) en relación a los medios audiovisuales y a las "máquinas de enseñar" utilizadas por la "enseñanza programada". Vale la pena recordar la argumentación de Piaget que, pensamos, conserva su vigencia:

"Los espíritus sentimentales o pesarosos se han entristecido de que se pueda sustituir a los maestros por máquinas; sin embargo, estas máquinas nos parece que prestan el gran servicio de demostrar sin posible réplica el carácter mecánico de la función del maestro tal como la concibe la enseñanza tradicional: si esta enseñanza no tiene más ideal que hacer repetir correctamente lo que ha sido correctamente expuesto, está claro que la máquina puede cumplir correctamente estas condiciones".

En el mismo sentido crítico se expresaba Gérard de Selys en su artículo "La escuela, gran mercado del siglo XXI", que subtitulaba, muy significativamente, "Un sueño enloquecido de tecnócratas e industriales" (De Selys, 1998).

En definitiva, las nuevas tecnologías –cuyo valor instrumental nadie pone en duda– no pueden ser consideradas, como algunos siguen pretendiendo, el fundamento de una tendencia realmente transformadora. Tras esta pretensión se esconde, una vez más, la suposición ingenua de que una transformación efectiva de la enseñanza puede ser algo sencillo, cuestión de alguna receta adecuada, como, en este caso, la "informatización". La realidad del fracaso escolar, de las actitudes negativas de los alumnos, de la frustración del profesorado, acaban imponiéndose sobre el espejismo de las fórmulas mágicas.

Éstas son, en definitiva, algunas de las razones de que en un libro como éste no se haya dedicado un capítulo especial sobre las TIC, aunque sí aparezcan referencias a la utilidad de las nuevas tecnologías en algunos capítulos, muy en particular en el dedicado a los trabajos prácticos.

De acuerdo con lo que precede, esta parte constará de los siguientes capítulos:

Capítulo 3. *¿Cómo empezar?*

Capítulo 4. *¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica?*

Capítulo 5. *¿Cómo convertir los problemas de lápiz y papel en auténticos desafíos de interés?*

Capítulo 6. *¿Cómo hacer posible un aprendizaje significativo de conceptos y teorías?*

Capítulo 7. *¿Qué hacer antes de finalizar?*

Capítulo 8. ¿Para qué y cómo evaluar?

Referencias bibliográficas en esta introducción a la segunda parte

DE SELYS, G. (1998). La escuela, gran mercado del siglo XXI, *Le Monde diplomatique*, edición española, número de junio, 28-29.

GIL-PÉREZ, D. y VALDÉS, P. (1995). Un ejemplo de práctica de laboratorio como actividad investigadora. *Alambique*, 6, 93-102.

LOWE, R. (1996). Les nouvelles technologies, voie royale pour améliorer l'apprentissage des sciences par l'image? *ASTER*, 22, 173-194.

McDERMOTT, L. C. (1990). A perspective on teacher preparation in physics - other sciences: the need for special science courses for teachers. *American Journal of Physics*, 58 (8), 734-742.

McFARLANE, A. E. y FRIEDLER, Y. (1998). Where you want it, when you wont it: the role of portable computers in science education. En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.), *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer.

MILLOT, M. C. (1996). Place des nouvelles technologies dans l'enseignement de la physique-chimie. *Didaskalia*, 8, 97-109.

PIAGET, J. (1969). *Psicología y Pedagogía*. Barcelona: Ariel.

SCHECKER, H. P. (1998). Integration of experimenting and modelling by advanced educational technology: examples from nuclear physics. En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.), *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer.

SONGER, N. B. (1998). Can technology bring students closer to science? En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.) *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer.

SPITULNIK, M. W., STRATFORD, S., KRAJCIK, J. y SOLOWAY, E. (1998). Using Technology to support students' artefact construction in science. En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.), *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer.

VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de la física. *Revista Española de Física*, 8 (4), 50-52.

Capítulo 3

¿Cómo empezar?

Daniel Gil Pérez y Amparo Vilches

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Cómo empezar un curso con objeto de crear un clima favorable para la implicación de los estudiantes y romper con la indiferencia y rechazo apriorístico de muchos de ellos?
- ¿Qué compromisos deberíamos adquirir profesores y estudiantes para lograr los mejores resultados del trabajo común?
- ¿Cuáles habrían de ser las características de un centro educativo para que potencie un clima favorecedor del aprendizaje de los alumnos y de su interés por el estudio?
- ¿Qué papel deben jugar las relaciones CTSA desde el mismo inicio del estudio de un tema?

EXPRESIONES CLAVE

Actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje; clima de aula y de centro; compromisos para el funcionamiento de la clase; inicio de curso e inicio de un tema; relaciones profesor-alumnos.

INTRODUCCIÓN

Con relación al modelo de aprendizaje como investigación orientada que hemos esbozado en el capítulo anterior y que ahora empezamos a desarrollar, una pregunta como la que da título a este capítulo tiene una doble lectura.

Por una parte, nos remite a cómo iniciar el proceso de investigación de una problemática concreta. Se trata de algo fundamental, sin duda, para conseguir la implicación de los estudiantes en la tarea que van a iniciar. Equivale, en alguna medida, al proceso que conduce a un equipo científico a abordar una cierta problemática. No es posible pasar por alto esta fase compleja, a menudo nebulosa y titubeante, que lleva a los científicos a centrar su interés en una cierta problemática y a precisar problemas concretos susceptibles de ser investigados. También los estudiantes han de vivir esta situación en la que lo fundamental no es construir respuestas, sino *formular preguntas y tomar decisiones* acerca de qué investigar y por qué razones. Dedicaremos una parte de este capítulo a analizar con algún cuidado la transposición didáctica de esta actividad central, imprescindible, del trabajo científico.

Pero "cómo empezar" comporta también la consideración de una cuestión previa. No podemos ignorar, en efecto, que nuestros alumnos no son científicos y que muchos de ellos llegan con prejuicios, fruto de sus experiencias previas y del clima social, en torno a las dificultades del aprendizaje de las ciencias, que se traducen en actitudes de desinterés, cuando no de rechazo.

No podemos esperar, pues, que baste presentarles una nueva orientación del aprendizaje como la que proponemos para que automáticamente se genere una actitud positiva, sin la cual resulta imposible su implicación. Esta implicación exige la creación de un nuevo clima y el establecimiento de otro tipo de relaciones profesor-alumnos y de los alumnos entre sí.

Abordaremos, pues, en primer lugar, lo que supone la creación de este nuevo clima, planteando cómo iniciar un curso cuando se pretende implicar a los estudiantes en un proceso de renovación que devuelva a la educación científica el interés que la propia ciencia tiene como actividad abierta y creativa.

CÓMO EMPEZAR UN CURSO: DISEÑO DE ESTRATEGIAS DESTINADAS A LA CREACIÓN DE UN CLIMA FAVORABLE PARA LA IMPLICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES

Tal como ya hemos señalado, no basta con que los profesores modifiquemos nuestra enseñanza ofreciendo una visión más rica y atractiva (es decir, más ajustada a la realidad) de la actividad científica. Hay que tener en cuenta que muchos estudiantes llegan con prejuicios muy enraizados (y, en general, fundamentados) contra los estudios científicos. Sin algo que ponga en cuestión estos prejuicios, desde el principio, nuestros esfuerzos innovadores pueden estrellarse contra una indiferencia y rechazo apriorísticos que impiden a los alumnos, o al menos dificultan inicialmente, el pleno aprovechamiento de los cambios introducidos y su implicación en este proyecto de renovación de la educación científica.

Es conveniente, pues, atacar directamente ese, muy probablemente, clima inicial y generar expectativas positivas. Ello puede realizarse en cualquier momento, claro está, pero lo lógico es plantearlo desde el mismo inicio del curso, evitando caer en lo que siempre se ha hecho.

Propuesta de trabajo

Analicemos lo que habitualmente hacemos los profesores al iniciar un curso, así como los efectos que ello suele producir, y propongamos alguna estrategia para comenzar a romper con la indiferencia y el rechazo apriorístico de los estudiantes y crear un clima favorable para su implicación.

La reflexión sobre lo que los profesores solemos hacer los primeros días de clase nos permite cuestionar la costumbre de dedicar el primer día, tras una presentación anodina (del tipo "Me llamo... y soy el profesor de..."), a soltar un discurso sobre la importancia de la asignatura, que a menudo resulta repetitivo y tedioso (cada profesor se cree en la obligación de comenzar con este tipo de discurso), así como ineficaz, porque la información proporcionada no responde a preguntas que los alumnos se hayan formulado.

Otras veces, conscientes de la ineficacia de estas introducciones y aduciendo problemas de tiempo, entramos directamente en el temario (no perdamos el tiempo con "tonterías" y vayamos a "*lo importante*") y comenzamos a explicar introduciendo bruscamente a los estudiantes en una tarea desconocida y en principio carente de interés para ellos.

Todo lo discutido hasta aquí, sin embargo, permite comprender que "*lo importante*" es precisamente dedicar el tiempo necesario para crear un clima propicio y lograr que los alumnos se sientan protagonistas de una tarea capaz de interesarles y a la que, por tanto, merece la pena dedicar esfuerzos.

Lo que se puede hacer en esa dirección es, naturalmente, muy diverso. Se puede, por ejemplo, comenzar reconociendo a los alumnos que sabemos que los estudios científicos tienen "mala prensa" entre ellos y que es lógico que así sea porque, como han mostrado numerosos estudios, *estamos enseñando mal*, estamos proporcionando una imagen deformada y empobrecida de las ciencias que difícilmente puede interesar a nadie. Pero que eso puede y debe cambiar, porque el mundo científico es realmente apasionante y resulta absurdo que aparezca como algo de lo que da ganas de huir.

Se puede insistir, pues, en que el rechazo actual de muchos estudiantes hacia la ciencia está, a menudo, fundamentado y constituye una prueba de su capacidad crítica que debe ser valorada *y aprovechada*:

Propuesta de trabajo

Con el fin de implicar a los estudiantes desde el primer momento, en el necesario replanteamiento de la educación científica, se les puede proponer que discutan entre sí, formando pequeños grupos, la siguiente cuestión:

"¿Qué aspectos de la educación científica que habéis recibido hasta el momento encontráis criticables y preferiríais que no continuaran llevándose a cabo? ¿Qué habéis echado en falta en esa enseñanza o a qué os gustaría que se le diera más importancia?".

¿Qué resultados cabe esperar de tal actividad?

Las respuestas que suelen dar los equipos de estudiantes a las preguntas formuladas permiten sacar a la luz muchos aspectos que responden a características de la enseñanza habitual, que no sólo ellos rechazan (o echan de menos), sino que, como hemos mostrado en el capítulo 2, han sido cuestionados también por la investigación didáctica. Más o menos explícitamente y con mayor o menor precisión, dependiendo de su nivel, se refieren a las clases monótonas, aburridas, al exceso de "teoría" y de "fórmulas" y a la falta de trabajos prácticos, a la desconexión con problemas actuales, con problemas de la vida real, a la falta de participación de los alumnos, al autoritarismo del profesor, a su inaccesibilidad, a la falta de diálogo entre profesor y alumnos, a la forma en que se evalúa, dando excesiva y casi exclusiva importancia a los exámenes, etc.

Tomando como base estas críticas, los profesores podemos referirnos brevemente a las deformaciones de la actividad científica que subyacen a menudo tras los comportamientos criticados y pasar al *establecimiento de compromisos explícitos* que den respuesta a sus críticas y favorezcan la implicación de los alumnos. Podemos para ello plantear a los estudiantes, *y plantearnos nosotros mismos*, la siguiente cuestión:

Propuesta de trabajo

¿Qué propuestas podemos hacer para evitar los aspectos rechazados en la enseñanza de las ciencias? Más concretamente, ¿qué compromisos deberíamos adquirir profesores y estudiantes para lograr los mejores resultados del trabajo común?

La idea de establecer *compromisos explícitos,* tanto para el profesor como para los alumnos, fruto de la negociación y de la búsqueda conjunta del mejor funcionamiento, resulta atractiva para los estudiantes y contribuye a crear un nuevo clima de corresponsabilidad. Se pueden avanzar así acuerdos como, entre otros, los siguientes:

- El compromiso del profesor de ***potenciar los aspectos más creativos y relevantes de la actividad científica,*** habitualmente ausentes en la educación, como las relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA) que enmarcan el desarrollo científico, empezando por la discusión del interés e importancia de los temas que se van a abordar, las aproximaciones cualitativas, la *invención* de hipótesis, la realización de experimentos para someterlas a prueba, el establecimiento de relaciones entre distintos dominios, etc. Será preciso aclarar a este respecto que la consideración de estos aspectos creativos, no sólo no constituye "una pérdida de tiempo" que dificulte el aprendizaje de los conceptos, leyes y teorías, sino que, como han mostrado investigaciones rigurosas, lo favorece notablemente, a la vez que se contribuye a una visión más adecuada de la ciencia y el trabajo científico. Prestaremos, pues, la máxima atención a estos aspectos en el desarrollo mismo del temario del curso. Pero recurriremos también, en la medida de lo posible, a la educación científica no formal, como el uso de la prensa, la visita a museos y centros de trabajo tecnocientífico, etc., respondiendo así al interés manifiesto de muchos estudiantes. En particular, plantearemos también con cierta periodicidad problemas científicos y tecnológicos más puntuales, que puedan asociarse a experiencias sencillas y que son susceptibles de interesar a los estudiantes por sus resultados sorprendentes,

por la posibilidad que les brinda de poner en práctica su inventiva, etc., y permiten aprovechar en el aula algunas de las características más positivas de una educación científica "no formal", como la elaboración de productos a partir de materiales de fácil acceso y como respuesta a problemas de interés, etc.

- El compromiso del profesor de ***potenciar la máxima participación de los estudiantes***, para que éstos sean coprotagonistas del desarrollo de la clase y no queden limitados a actuar de receptores o seguidores de consignas. Y el correspondiente compromiso de los alumnos de participar realmente, conscientes de su responsabilidad en el avance hacia los logros perseguidos. Es preciso dejar claro que esta idea de potenciar la participación de los alumnos no sólo responde a un legítimo deseo de protagonismo de los estudiantes, sino que constituye un requisito para la inmersión en una cultura científica, en la que la dimensión colectiva, es decir, el trabajo en el seno de equipos, el intercambio entre los equipos, la comunicación oral y escrita, etc., constituye una característica esencial *a la que vamos a conceder toda su importancia*, estructurando la clase en equipos (de entre 3 y 5 alumnos) desde el primer momento y potenciando la cooperación y el debate en los equipos, las puestas en común periódicas, las sesiones póster, etc. Una "pequeña" implicación, pero cargada de simbolismo, de este mayor protagonismo de los alumnos, es hacer que la presentación exclusiva del profesor (en general, como ya hemos comentado, absolutamente anodina) deje paso a la presentación de *todos* los protagonistas. Presentaciones significativas, en las que cada cual hable de su "historia", es decir, de sus intereses y preocupaciones, de las dificultades experimentadas en cursos anteriores, de sus expectativas... Presentaciones meditadas, pensadas para facilitar la cooperación, el trabajo común. A este respecto puede ser útil que el profesor comience presentándose de manera realmente significativa (hablando se sus intereses, preocupaciones, etc.) y solicite a los estudiantes que *escriban* "una breve presentación personal acerca de sus vuestros y preocupaciones, dificultades experimentadas en cursos anteriores... y cualquier otro aspecto que consideréis útil dar a conocer". Ello resulta de la mayor utilidad, pues facilita un mejor conocimiento mutuo, permite al profesor detectar problemas que merecen una atención particular y contribuye, en definitiva, a la creación del clima distendido y amigable que el trabajo común reclama.
- El compromiso del profesor de trabajar, y de ***apoyar el trabajo de los alumnos, para lograr que la inmensa mayoría de ellos disfruten, aprendan y tengan éxito académico.*** Y el correspondiente compromiso de los estudiantes de perseverar en la superación de las dificultades, conscientes de que todo aquel que trabaja con regularidad, contando con la ayuda del profesor y de otros compañeros, termina por alcanzar los objetivos marcados. Algo absolutamente factible, como han mostrado numerosas investigaciones que han cuestionado la concepción elitista de que los estudios científicos tan sólo están al alcance de unos pocos. Estos compromisos suponen un replanteamiento radical de la evaluación, que, como veremos en el capítulo 8, ha de dejar de constituir un instrumento para constatar y discriminar, y convertirse en instrumento de seguimiento y regulación del proceso para que el conjunto de los alumnos (¡y el profesor!) alcancen los logros perseguidos. Y también esto se corresponde con una característica básica de la cultura científica y tecnológica que debe ser resaltada.

Esta forma de plantear el inicio de curso permite responder, de una manera funcional, a cuestiones que preocupan legítimamente a los estudiantes: cómo se va a trabajar, en qué consistirá la evaluación, etc., al tiempo que establece un pacto para el buen funcionamiento de la clase. Un pacto y unos compromisos explícitos que deberán ser revisados periódicamente para regular convenientemente dicho proceso. Pero son posibles, por supuesto, otras estrategias. Algunos profesores prefieren no apoyarse en el análisis crítico (que puede, quizás, ser mal interpretado por algunos colegas) y plantean simplemente que la investigación ha mostrado la importancia de tener en cuenta, desde el primer momento, las ideas, preocupaciones, intereses... de los alumnos para lograr un buen funcionamiento de la clase y evitar el creciente desinterés, cuando no rechazo, de muchos estudiantes hacia los estudios científicos. Para ello plantean como primera actividad *"¿Qué preguntas os hacéis en este primer día de clase? ¿Cuáles son vuestras principales preocupaciones? ¿Qué sugerencias os gustaría hacer?*", incitándoles a expresar realmente todas sus dudas, temores y deseos (puesto que inicialmente a penas se atreven a ir más allá de alguna pregunta formal del tipo "¿cómo van a ser los exámenes?"). La invitación a que escriban en la pizarra las cuestiones de cada grupo actúa de acicate y de ese modo aparecen cuestiones clave que permiten pasar al establecimiento de *compromisos* como los que hemos mencionado. En definitiva, sea cual sea la estrategia elegida, resulta fundamental dedicar el tiempo suficiente a este "inicio de curso" y al establecimiento de un nuevo clima.

Para terminar, en el caso de que en el currículo de la asignatura no haya previsto ningún tema inicial sobre las características de la actividad científica, se puede plantear una actividad que, conectando con lo que hemos visto en esta introducción al curso, permita una cierta discusión inicial acerca de la naturaleza de la ciencia, en la que se irá profundizando a lo largo del curso.

Propuesta de trabajo

Concibamos alguna actividad sencilla para los estudiantes que permita cuestionar y salir al paso de las visiones deformadas y empobrecidas de la actividad científica y tecnológica.

Se puede proponer, por ejemplo, que dibujen una situación representativa de la actividad científica, o bien que elaboren un diagrama de un proceso de investigación, o que indiquen las características más relevantes del trabajo científico, etc. Cualquiera de estas actividades ayuda a sacar a la luz las concepciones de los estudiantes y puede dar pie a una reflexión y discusión que permite que los profesores, apoyándonos en las contribuciones más positivas, reforcemos una visión más rica de la actividad científica, que es la que se potenciará e irá profundizándose a lo largo del curso. Puede ser conveniente, incluso, proporcionar después algún dibujo más completo o algún diagrama o breve texto como los que hemos utilizado en el capítulo 2.

Esto es lo mínimo que conviene hacer, en el caso, repetimos, de que no haya un tema especial sobre la naturaleza de la actividad científica que permita salir al paso de las visiones distorsionadas de la ciencia y la tecnología.

Por último, antes de que el profesor presente con algún detalle el contenido de la asignatura, conviene que los equipos conciban preguntas que consideren de interés,

relacionadas con la temática de la asignatura. Se trata, en definitiva, de tener presente que los conocimientos científicos son respuestas a preguntas que la comunidad científica ha ido formulándose y que tan importante o más que construir respuestas es saber formular preguntas fructíferas. Se trataría de pedirles que "formulen preguntas relacionadas con la temática del curso cuya respuesta desearían conocer".

Esta actividad está pensada para los estudiantes, pero es importante también que, como profesores, formulemos preguntas de interés que nos ayuden a presentar el contenido del curso como tratamiento de situaciones problemáticas de interés.

Terminamos aquí esta breve reflexión acerca de cómo implicar a los estudiantes, desde el comienzo de un curso, en el marco de la necesaria renovación de la educación científica, con objeto de superar las actitudes de desinterés e incluso rechazo de muchos de ellos y generarles expectativas positivas, a la vez que comienzan a familiarizarse desde el principio con el trabajo científico.

Naturalmente, esta atención a la creación de un **clima de aula positivo** no puede limitarse al inicio del curso y exige una atención sostenida. De hecho, la importancia del clima del aula *y del centro* para el logro de un funcionamiento eficaz (es decir, para la creación de un clima favorecedor del aprendizaje de los estudiantes y de su interés por el estudio), ha sido resaltada por la investigación educativa (Rivas, 1986; Fraser, 1994). Nos detendremos ahora brevemente en analizar el papel del clima del centro en el aprendizaje.

IMPORTANCIA DEL CLIMA DEL CENTRO EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Como ya hemos señalado, el estudio del clima del aula y del centro ha sido abordado, a lo largo de las últimas décadas, por numerosas investigaciones en diferentes campos de la educación, y muy en particular de la educación científica, con numerosas aportaciones recogidas en los Handbooks publicados (Gabel, 1994; Perales y Cañal, 2000), en las que se muestra la gran influencia que dicho clima tiene en el aprendizaje de los estudiantes y en las actitudes hacia la ciencia.

Propuesta de trabajo

¿Cuáles habrían de ser las características de un centro educativo para que exista un clima favorecedor del aprendizaje de los alumnos y de su interés por el estudio?

Una cuestión como la anterior se relaciona con el origen de una línea de investigación particularmente interesante: la denominada *Effective School Research*. Nos detendremos brevemente en analizar sus resultados. Se trata de una línea de investigación que contrasta con la generalidad de las investigaciones educativas que, como sabemos, suelen partir de las dificultades, de lo que funciona mal, con el propósito de comprender las causas y concebir y ensayar soluciones. El enfoque de la Effective School Research (Rivas, 1986) ha sido radicalmente distinto, ya que ha consistido en buscar un número suficiente de centros en los que la enseñanza funcione bien, es decir, en los que los estudiantes y profesores se sientan a gusto, en los que los estudiantes salgan bien preparados y con deseos de proseguir estudios superiores, etc., y ver qué es lo que caracteriza dichos centros.

Los resultados de más de veinte años de investigación en torno a las escuelas eficaces permiten referirse a las siguientes características de las mismas:

- Las **altas expectativas** que los profesores de dichos centros poseen y transmiten a sus alumnos. Puede ser interesante aquí recordar muchas otras investigaciones a las que ya nos hemos referido en este módulo, como la de Spear (1984) y otras similares, incluyendo el "efecto Pigmalión" (Rosenthal y Jacobson, 1968).
- El aprovechamiento óptimo del tiempo escolar de aprendizaje, entendiendo por tal el que corresponde a una activa **implicación del alumno** en las tareas, siempre que éstas estén programadas para producir una notoria proporción de éxitos.
- El **seguimiento continuo del trabajo** de los estudiantes, y la retroalimentación que los profesores proporcionan de las tareas realizadas, siempre desde la óptica de una valoración positiva, de una ayuda al progreso.
- Un **ambiente ordenado y distendido de disciplina compartida**, más próximo al clima de un centro de investigación que al de esas aulas en las que se percibe "una atmósfera de control (...) que el profesor mantiene con grandes y deliberados esfuerzos" (Ausubel, 1968), como corresponde a una situación de "trabajos forzados"...

En esencia, todos estos factores se refieren al clima del aula y resultan coherentes, como podemos apreciar, con las orientaciones del modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación dirigida al que nos venimos refiriendo. Algunos de dichos factores, como el ambiente ordenado de trabajo, la autodisciplina compartida, etc., son igualmente válidos en lo que se refiere al clima del centro, pero, como es lógico, éste tiene sus exigencias propias que son también resaltadas por la Effective School Research y que resultan coherentes con lo visto hasta aquí acerca de la importancia de la dimensión axiológica en el aprendizaje de las ciencias.

- La existencia de un proyecto de centro, elaborado con la participación de los estudiantes y toda la comunidad educativa. Se trata de establecer un conjunto limitado de objetivos básicos, bien definidos y alcanzables, sobre los que se concentran los esfuerzos de todos los miembros de la comunidad escolar.
- En estrecha relación con el punto anterior destaca la participación del profesorado de las escuelas eficaces en tareas de (auto)formación permanente y su implicación en innovaciones e investigaciones educativas. Los profesores adquirimos así las características de "investigadores en la acción" que realizamos un trabajo abierto, creativo y relevante, lo que permite superar el clima de frustración que en ocasiones acompaña a la actividad docente, así como las expectativas sociales en torno a quiénes pueden o no recibir una educación científica.

Se cierra así el círculo de una serie de factores claramente interdependientes. Porque, ¿cómo podría pensarse que el aprendizaje de los alumnos tenga las características de una investigación, si la dirección de ese trabajo no constituye para nosotros los profesores una actividad creativa?

Es ahora, contando con la existencia de un clima que favorezca desde el principio la implicación de los estudiantes en las tareas que se van a iniciar, despertando su interés hacia las mismas, cuando podemos abordar el "cómo empezar" el estudio de una problemática concreta.

CÓMO EMPEZAR EL TRATAMIENTO DE UN TEMA

El desarrollo del capítulo 2 nos permitió cuestionar las visiones deformadas y empobrecidas de la ciencia y comprender, por tanto, la necesidad de una profunda reorientación de las actividades de aprendizaje de las ciencias para contribuir a una visión más adecuada de la ciencia y la tecnología, que permita aumentar el interés de los estudiantes y favorecer su aprendizaje. Teniendo esto presente, nos plantearemos ahora cómo empezar un tema, considerando qué actividades se deberían contemplar al comienzo de una unidad didáctica concreta.

Propuesta de trabajo

¿Qué actividades deberíamos plantear a los estudiantes, al iniciar un tema, para orientar el aprendizaje como una investigación?

Podemos remitirnos a las consideraciones generales que realizamos en el capítulo 2, y que quedan resumidas en el cuadro 1, donde, entre otros aspectos relativos al modelo propuesto, insistíamos en la necesidad de evitar las introducciones arbitrarias y de plantear la necesaria reflexión acerca del interés de las situaciones que se van a estudiar, para dar sentido a su estudio *desde el primer momento*. Concretamente hacíamos referencia a la necesidad de:

- **Proponer situaciones problemáticas abiertas**, con objeto de que los estudiantes puedan tomar decisiones para precisarlas y familiarizarse así con lo que supone la formulación de problemas concretos.
- Plantear una **reflexión sobre el posible interés** de las situaciones propuestas, que dé sentido a su estudio, relacionándolo con el resto del programa y, muy en particular, considerando ya desde el principio sus posibles **implicaciones CTSA.**
- Realizar un **análisis cualitativo** significativo, a la luz de los conocimientos disponibles, del interés del problema, etc. con el fin de ayudar a comprender y a acotar las situaciones planteadas.

Quizás lo primero a indicar, con relación a estas propuestas, es que no estamos haciendo referencia a tres tipos distintos de actividades a realizar más o menos secuencialmente, muy al contrario, queremos señalar que la participación de los estudiantes en la construcción de los conocimientos ha de partir, de forma similar a como ocurre en la actividad científica propiamente dicha, de su enfrentamiento a *situaciones problemáticas*. Unas situaciones *confusas* que exigen un tratamiento inicial fundamentalmente cualitativo, en el que se entrelazan las consideraciones acerca del posible interés e implicaciones de su estudio, la búsqueda de información pertinente, la construcción de una concepción preliminar de la tarea, la adopción de criterios para simplificarla y hacerla abordable, etc. No es posible separar estos distintos aspectos, que contribuyen a transformar las situaciones problemáticas de partida en problemas concretos que resulte posible y merezca la pena investigar. Pero este carácter inevitablemente ambiguo y confuso de las aproximaciones iniciales no debe escamotearse si no queremos transmitir una visión rígida y algorítmica de la ciencia, ni debe verse como algo negativo; al contrario, expresa la creatividad que acompaña a la *formulación* de problemas, algo tan importante o más, la construcción de soluciones.

Conviene llamar la atención sobre un aspecto a menudo olvidado en la educación científica y que está estrechamente relacionado con esta tarea de formulación de problemas. Nos referimos a la **toma de decisiones**, tanto en lo que se refiere a la conveniencia o no de realizar un determinado estudio (tomando en consideración sus posibles contribuciones, sus implicaciones, etc.) como las condiciones para poder realizarlo (simplificaciones convenientes, descomposición en subproblemas, etc.).

Muy en particular, es preciso, como señalábamos ya en el capítulo 1, contribuir a la preparación de los estudiantes para la toma de decisiones como científicos y *como futuros ciudadanos*, estimulando los planteamientos globales, la vinculación de conocimientos, la consideración de distintas opciones, etc. Es preciso no ocultar las preocupaciones sociales y de la propia comunidad científica acerca de, por ejemplo, las implicaciones de un determinado desarrollo tecnocientífico y favorecer la participación de los estudiantes en debates científicos *y éticos*, a los que tendrán que enfrentarse, insistimos, como ciudadanos y, en su caso, como científicos.

Ello permitirá salir al paso tanto de las visiones que contemplan la ciencia y la tecnología como actividades descontextualizadas y, por tanto, ajenas a toda responsabilidad, como de las que las responsabilizan, en exclusiva, del deterioro del planeta. Como afirma Daniella Tilbury (1995), "los problemas ambientales y del desarrollo no son debidos exclusivamente a factores físicos y biológicos, sino que es preciso comprender el papel jugado por los factores estéticos, sociales, económicos, políticos, históricos y culturales". Se puede contribuir así a superar visiones simplistas sobre el papel de la ciencia y, sobre todo, a reorientar la educación hacia el logro de una sociedad sostenible, tal como Naciones Unidas y otras instituciones mundiales vienen reclamando, desde hace años, a los educadores de todas las áreas (Gil-Pérez et al., 2003). La dimensión CTSA se convierte, de este modo, en un puente entre la educación científica y la educación general de toda la ciudadanía (Solbes, Vilches y Gil-Pérez, 2001).

La ayuda del profesor es imprescindible para que los alumnos realicen toda esta compleja tarea de aproximación inicial a las situaciones problemáticas, toma de decisiones, formulación de problemas concretos, etc., orientando el trabajo de los equipos, planteando actividades adecuadas, proporcionando retroalimentación, etc. Para ello es preciso que los propios profesores adquiramos la debida preparación previa, asomándonos a la historia de la construcción de los conocimientos implicados, sus orígenes, evolución, implicaciones, etc. Ello permite conocer los problemas que dieron origen a su desarrollo (y que pueden ayudarnos a presentar las situaciones problemáticas a los alumnos), así como *por qué* la comunidad científica se implicó en su estudio, lo que nos pone en conexión, desde el primer momento, con las relaciones CTS y, más recientemente, pero todavía de forma insuficiente, CTSA (añadiendo la A de ambiente, recordemos, para expresar la creciente preocupación por las implicaciones ambientales de las actividades humanas).

En definitiva, pues, si queremos evitar las introducciones arbitrarias que suelen caracterizar una enseñanza que se limita a transmitir conceptos ya elaborados, será necesario tener en cuenta, para iniciar el estudio de un tema, la idea central de que *todo conocimiento es la respuesta a una cuestión,* a un problema (Bachelard, 1938). Se han de tener presente, pues, los orígenes de los conocimientos que se pretenden estudiar, los problemas a los que se trataba de dar respuesta y su relevancia, implicando a los estudiantes en la formulación de los mismos.

En la tercera parte de este libro hemos incluido una serie de ejemplos de temas desarrollados con esta orientación. Nos remitimos a dichos ejemplos (capítulos 10 al 15) para

mostrar cómo "problematizar" el estudio de un tema y de todo un temario (capítulo 9), algo absolutamente necesario, insistimos una vez más, para hacer participar a los estudiantes en la construcción de los conocimientos que se van a abordar, aproximando su trabajo a la propia riqueza y creatividad del trabajo científico.

Para terminar estas consideraciones acerca de cómo empezar y, más concretamente, del papel de las relaciones CTSA desde el mismo inicio del estudio de una problemática, abordaremos a continuación una cuestión que merece una cierta atención por los debates que está generando entre el profesorado y los mismos investigadores.

Propuesta de trabajo

¿Hasta qué punto la atención que se está reclamando a las relaciones CTSA constituye un nuevo enfoque en la enseñanza de las ciencias, más orientado a la formación ciudadana que a la preparación de científicos?

Para analizar dicha cuestión conviene realizar una breve revisión histórica del desarrollo de las propuestas de incorporar las relaciones CTSA a la educación científica. Los estudios en torno a las interacciones CTS constituyen, desde hace años, una importante línea de investigación en la didáctica de las ciencias, como pone de manifiesto la gran cantidad de trabajos, artículos y monográficos en revistas especializadas, así como las conferencias, seminarios, congresos, etc., que sobre las relaciones CTS se han desarrollado (Caamaño, 1995; Solbes y Vilches, 1997 y 2000; Marco, 2000; Martins, 2000; Membiela, 2001).

El movimiento CTS tiene un origen reivindicativo que se remonta, fundamentalmente, a los años sesenta, y la importancia de los denominados "enfoques CTS" en el ámbito de la enseñanza de las ciencias ya aparecía reconocida en los documentos de la Association for Science Education (ASE, 1979) a finales de los setenta, o de la National Science Teachers Association, que, por ejemplo, en 1982 recomendaba que los estudiantes norteamericanos recibieran formación CTS en un porcentaje del 5% de los contenidos para el nivel elemental, un 15% en los primeros niveles de secundaria y un 20% en los más altos (NSTA, 1982).

Investigaciones centradas en el estudio del desinterés de los estudiantes hacia la ciencia, en su preparación para la toma de decisiones (Aikenhead, 1985), en los cuestionamientos de las visiones descontextualizadas, tradicionales en la enseñanza de la ciencia, en los objetivos de las nuevas tendencias y propuestas curriculares recogidas en las líneas denominadas Ciencia para Todos, Alfabetización Científica, etc., han dado lugar a lo largo de todos estos años a programas y proyectos concretos en el campo de las interacciones CTS, sobre los que existe abundante bibliografía (Membiela, 2001). Dichas propuestas, que tienen en común la importancia concedida a la dimensión social de la ciencia, presentan diferentes orientaciones relacionadas con cuál puede y debe ser el papel de las interacciones CTS en la enseñanza de las ciencias.

Es necesario, sin embargo, insistir, teniendo en cuenta lo que hemos venido debatiendo hasta aquí, que no es posible concebir el papel de las interacciones CTSA sin referirnos a la globalidad de la orientación dada a la enseñanza de las ciencias. Como ya hemos visto, y tendremos oportunidad de profundizar en próximos capítulos, un modelo

de enseñanza es algo más que un conjunto de actividades o elementos yuxtapuestos e intercambiables. Como expresa Hodson (1992), "no es posible separar estos tres elementos: aprender ciencias (adquirir el conocimiento conceptual y teórico), aprender acerca de la ciencia (desarrollar una cierta comprensión de la naturaleza de la ciencia, sus métodos y sus complejas interacciones con la sociedad) y hacer ciencia (implicarse en tareas de indagación científica y adquirir cierto dominio en el tratamiento de problemas)".

Por tanto, cuando hablamos de prestar atención a la dimensión CTSA en la enseñanza de las ciencias y de la tecnología, como elemento fundamental para la formación de ciudadanos y ciudadanas, no nos estamos refiriendo, simplemente, a añadir nuevos contenidos a los temas habituales, ni tampoco a *sustituir* el aprendizaje de "conocimientos científicos" (conceptos, teorías...) por la atención al papel social de la ciencia y la tecnología. Como hemos venido señalando en los capítulos 1 y 2, la dimensión CTSA se debe entender como parte de la *inmersión en una cultura científica y tecnológica*, aproximando el trabajo de los estudiantes a las actividades de los científicos y tecnólogos, a través del estudio de situaciones problemáticas relevantes. Y esta propuesta pretende llamar la atención sobre aspectos esenciales del trabajo científico, superando visiones reduccionistas y deformadas sobre dicha actividad que, como justificábamos en el capítulo 1, *dificultan el mismo aprendizaje conceptual* que se pretendía privilegiar. La atención a las relaciones CTSA constituye de esta forma una parte fundamental de la inmersión en la cultura científica, donde los distintos aspectos interaccionan y se apoyan mutuamente.

Con otras palabras, podemos concluir aquí que, desde nuestro punto de vista, la incorporación de las relaciones CTSA en la enseñanza de las ciencias *no constituye un enfoque distinto* que pretenda relegar la adquisición de conocimientos conceptuales o centrarse prioritariamente en las implicaciones sociales de la tecnociencia. Las relaciones CTSA constituyen una *dimensión* básica en la actividad científica que ha de aparecer vinculada al resto de dimensiones de la educación científica.

Una vez abordada, en este capítulo acerca de **cómo empezar**, la importancia de un clima favorecedor de la implicación de los estudiantes en las tareas del curso, así como las problemáticas de interés como punto de partida para un trabajo de investigación dirigida, pasaremos ahora a estudiar otras actividades básicas del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, como son, en primer lugar, las prácticas de laboratorio, que aparecen a menudo como el elemento central de las propuestas de renovación de la educación científica.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado originalmente para este libro.

Referencias bibliográficas en este capítulo

AIKENHEAD, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 6(4), 453-475.

ASE (1979). *Alternatives for Science Education*. Hartfield: ASE.

AUSUBEL, D. P. (1968). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas. Existe una nueva versión en la que han colaborado Novak y Hanesian: AUSUBEL D. P, NOVAK J. D. HANESIAN, H. (1978). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

BACHELARD, G. (1938). *La Formation de L´esprit scientifique.* Paris: Vrin.

CAAMAÑO, A. (Coord.) (1995). La educación Ciencia-Tecnología-Sociedad. Monografía. *Alambique*, 3, 4-72.

FRASER, B. J. (1994). Research on classroom and school climate. En Gabel, D. L. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* New York: McMillan Pub Co.

GABEL, D. L. (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* New York: McMillan.

GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., EDWARDS, M., PRAIA, J., MARQUES, L. y OLIVEIRA, T. (2003). A proposal to enrich teachers' perception of the state of the world. First results. *Environmental Education Research*, 9(1), 67-90.

HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education,* Vol. 14, 541-562.

MARCO, B. (2000). La alfabetización científica. En Perales, F. y Cañal, P. (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 141-164. Alcoy: Marfil.

MARTINS, I. (Coord.) (2000). *O Movimento CTS na Península Ibérica.* Aveiro: Universidade de Aveiro.

MEMBIELA, P. (Ed.) (2001). *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. Formación científica para la ciudadanía.* Madrid: Narcea.

NSTA (1982). *Science-Technology-Society: Science education for the 1980,* Washington: NSTA.

PERALES, F. J. y CAÑAL, P. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

RIVAS, M. (1986). Factores de eficacia escolar: una línea de investigación didáctica. *Bordón*, 264, 693-708.

ROSENTHAL, R. y JACOBSON, L. (1968). *Pygmalion in the classroom*. New Jersey: Rineheart and Winston.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of physics and chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (2000). La introducción de las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad en la enseñanza de las ciencias y su evolución. *Educación Química,* 11(4), 387-394.

SOLBES, J., VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2001). Papel de las interacciones CTS en el futuro de la enseñanza de las ciencias. En Membiela (Ed.), *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. Formación científica para la ciudadanía.* Madrid: Narcea.

SPEAR, M.G. (1984). Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics. *European Journal of Science Education*, 6 (4), 369-377.

TILBURY, D. (1995). Environmental education for Sustainability: defining the new focus of environmental education in the 1990, *Environmental Education Research,* 1(2), 195-212.

Capítulo 4

¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica?

Carles Furió, José Payá y Pablo Valdés

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Qué visiones deformadas acerca de la actividad científica pudieran estar transmitiendo, por acción u omisión, los trabajos experimentales que se realizan habitualmente?
- ¿Qué imagen de las relaciones ciencia-tecnología, en particular, transmiten las prácticas de laboratorio habitualmente propuestas?
- ¿Cuál debería ser el papel del trabajo experimental en el aprendizaje de las ciencias?
- ¿Cómo habría que reorientar las prácticas de laboratorio para que dejen de ser simples recetas a aplicar?
- ¿Qué papel pueden jugar el diseño y la elaboración por los estudiantes de productos tecnocientíficos sencillos?

EXPRESIONES CLAVE

Características de la actividad científica; experiencias tecnocientíficas sencillas; familiarización de los estudiantes con la actividad científica; renovación de las prácticas de laboratorio; trabajos prácticos como investigaciones.

INTRODUCCIÓN

La idea de buscar en la realización de abundantes trabajos prácticos la superación de una enseñanza puramente libresca y la solución a la falta de interés por el aprendizaje de las ciencias cuenta con una larga tradición (Lazarowitz y Tamir, 1994; Lunetta, 1998). De hecho constituye una intuición básica de la generalidad de los profesores de ciencias y de los propios alumnos, que contemplan el paso a una enseñanza eminentemente experimental como una especie de "revolución pendiente" (Gil-Pérez et al., 1991), necesaria para lograr la familiarización de los estudiantes con la naturaleza de la actividad científica. Una "revolución" permanentemente dificultada, se afirma, por factores externos (falta de instalaciones y material adecuado, excesivo número de alumnos, carácter enciclopédico de los currículos...).

La influencia de esta tendencia ha sido particularmente notable en el mundo anglosajón, donde en los años sesenta y setenta se elaboraron y pusieron en práctica numerosos proyectos de aprendizaje "por descubrimiento autónomo", centrados, casi exclusivamente, en el trabajo experimental y en "los procesos de la ciencia", como por ejemplo Physical Science Study Committee (PSSC), Chemical Education Material Study (CHEM Study) y Biological Sciences Curriculum Study (BSCS), en los Estados Unidos, y los cursos Nuffield de física, química y biología en Inglaterra. De estos proyectos derivaron incluso prototipos de equipamiento y variantes de trabajos experimentales que se extendieron por muchos países.

Pero, ¿hasta qué punto las prácticas que se realizan, en mayor o menor número, contribuyen a dicha familiarización? Es importante contestar a esta cuestión mediante un cuidadoso análisis de las prácticas habituales porque, atendiendo a la discusión realizada en el capítulo 2 en torno a las visiones deformadas de la ciencia, cabe sospechar que el problema principal no sea el del número de prácticas realizadas, sino la naturaleza de las mismas.

ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO HABITUALES

Propuesta de trabajo

Elijan algún trabajo de laboratorio de los que ordinariamente se realizan en la educación secundaria y analicen el modo en que se presenta, es decir, comenten sus aspectos positivos, lo que convendría modificar o suprimir, lo que se echa en falta, etc.

Cuando se favorece una reflexión previa en torno a las finalidades de la enseñanza de las ciencias y las características básicas de la actividad científica, como la realizada en la primera parte de este libro, los mismos profesores que habitualmente han concebido los trabajos de laboratorio como simples manipulaciones ahora toman conciencia de sus insuficiencias y de que dichos trabajos pudieran estar transmitiendo, por acción u omisión, una serie de visiones deformadas sobre del trabajo científico. Se censuran, ante todo, el carácter de simple "receta", su énfasis, casi exclusivo, en la realización de mediciones y cálculos, y se plantea la ausencia de muchos de los aspectos fundamentales para la construcción

de conocimientos científicos que resumimos en el cuadro 1 del capítulo 2, tales como la discusión de la relevancia del trabajo a realizar y el esclarecimiento de la problemática en que se inserta, la participación de los estudiantes en el planteamiento de hipótesis y el diseño de los experimentos, el análisis de los resultados obtenidos, etc.

Estas críticas coinciden, básicamente, con las recogidas en la literatura acerca del tema, que es ya bastante extensa. Por ejemplo, Lazarowitz y Tamir (1994) reportan haber encontrado 37 revisiones del tema entre 1954 y 1990, y éstas han seguido llevándose a cabo durante la pasada década (Barberá y Valdés, 1996; Lunetta, 1998). Se han publicado, en particular, numerosas críticas a los trabajos de laboratorio habituales (Gil-Pérez et al., 1991; Hodson, 1992 y 1994), números monográficos en diferentes revistas (por ejemplo: *International Journal of Science Education*, 18 (7), 1996, y *Alambique*, 2, 1994...), así como tesis doctorales (Payá, 1991; González, 1994; Salinas, 1994; González de la Barrera, 2003). La crítica a las prácticas habituales ha sido especialmente contundente y generalizada al evaluar los resultados del modelo de aprendizaje por "descubrimiento autónomo", cuyas serias limitaciones, asociadas a un inductivismo extremo, han sido denunciadas por numerosos autores (Ausubel, 1978; Giordan, 1978; Gil-Pérez, 1983; Millar y Driver, 1987; Salinas y Cudmani, 1992). Pero no se trata únicamente de inductivismo. Conviene, por ello, profundizar en las carencias de las prácticas de laboratorio habituales y mostrar su contribución a la imagen distorsionada y empobrecida de la actividad científica que discutimos en el capítulo 2.

Propuesta de trabajo

¿Qué visiones deformadas acerca de la actividad científica pudieran estar transmitiendo, por acción u omisión, los trabajos experimentales habituales?

Ya se ha señalado el gran peso que tiene la concepción empiro-inductivista en el profesorado de ciencias y, vinculada a ella, la común deformación que identifica a la metodología del trabajo científico con la realización de experimentos. Recordemos, por otra parte, que las distintas visiones deformadas de la ciencia se relacionan estrechamente entre sí. Así, la que reduce la metodología del trabajo científico a la realización de experimentos está fuertemente influida por una imagen de la ciencia que desconoce su naturaleza social y, en consecuencia, que no tiene en cuenta la multiplicidad de facetas que caracterizan dicho trabajo, ni tampoco otras formas de contrastación de conceptos y teorías diferentes al experimento. Al respecto de esto último, pensemos, por ejemplo, que al examinar unos resultados a la luz del cuerpo de conocimientos aceptado por la comunidad científica, estamos haciendo uso de todo el trabajo, teórico y práctico (en particular experimental), por medio del cual se ha establecido dicho cuerpo de conocimientos, lo que muchas veces hace innecesaria una contrastación experimental específica.

La concepción empiro-inductivista se hace muy evidente cuando el trabajo experimental se realiza, como es frecuente, con el propósito de observar algún fenómeno para "extraer" de él un concepto o cuando los estudiantes lo llevan a cabo mediante una guía previamente preparada, sin tener en cuenta, reiteramos una vez más, las cuestiones a que se pretende dar respuesta (lo que contribuye a una visión aproblemática), la discusión de su posible interés y relevancia (visión descontextualizada), la formulación tentativa de

hipótesis, el proceso de diseño que necesariamente precede a la realización de los experimentos o el análisis crítico de los resultados obtenidos (reforzando así una visión rígida, algorítmica y cerrada de la ciencia), etc. Todos estos aspectos son absolutamente fundamentales para que la experimentación tenga sentido.

Cabe señalar que cuando se propone a los profesores este análisis crítico de las prácticas de laboratorio habituales, lo realizan sin dificultad, como un corolario de la discusión efectuada en torno a las visiones distorsionadas de la ciencia. Pero merece la pena detenerse en dicho análisis para preparar mejor su necesaria transformación. En particular, conviene insistir en el papel jugado por las visiones acerca de la tecnología en una adecuada preparación del trabajo experimental.

Propuesta de trabajo

¿Qué imagen de las relaciones ciencia-tecnología transmiten las prácticas de laboratorio habitualmente propuestas?

Ya se ha examinado en el segundo capítulo de este libro el lugar central que le corresponde a la actividad de diseño –casi siempre ausente en los trabajos experimentales que se realizan en la enseñanza de las ciencias– como vínculo entre las actividades científicas y tecnológicas y, por consiguiente, a la hora de transmitir una correcta visión de las relaciones ciencia-tecnología. Es cierto que, como ya señalaba Bunge (1976), los diseños experimentales son deudores del cuerpo de conocimientos (la construcción, p.e., de un amperímetro sólo tiene sentido a la luz de una buena comprensión de la corriente eléctrica), pero su realización concreta exige resolver problemas prácticos en un proceso complejo con muchas de las características del trabajo tecnológico. Es precisamente éste el sentido que debe darse a lo que manifiesta Hacking (1983) cuando -parafraseando la conocida frase de que "la observación está cargada de teoría" (Hanson, 1958)- afirma que "la observación y la experimentación científica están cargadas de una competente práctica previa".

Como sabemos, esta dependencia de la ciencia respecto de la tecnología –y viceversa– se ha hecho cada vez más notable por lo que hoy corresponde hablar de *una estrecha interrelación ciencia-tecnología* (Maiztegui et al., 2002). Pero todo el papel de la tecnología en el desarrollo científico es algo que las prácticas de laboratorio habituales dejan de lado, al presentar diseños experimentales como simples recetas ya preparadas y excluir así cualquier reflexión acerca de las relaciones ciencia-tecnología.

Nos referiremos más concretamente a este papel de los diseños al desarrollar un ejemplo de práctica de laboratorio. Ilustraremos así el papel central de la tecnología en el desarrollo científico, cuestionando la concepción habitual de la tecnología como "ciencia aplicada" (Gardner, 1994).

En definitiva, el trabajo experimental no sólo tiene una pobre presencia en la enseñanza de las ciencias, sino que la orientación de las escasas prácticas que suelen realizarse contribuye a una visión distorsionada y empobrecida de la actividad científica. Es preciso, pues, proceder a una profunda reorientación.

LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO COMO INVESTIGACIÓN

Los estudios sobre prácticas de laboratorio han generando un amplio consenso en torno a su orientación como actividad investigadora (Gil-Pérez et al., 1991; González, 1992; Hodson, 1992 y 1993; Tamir y García, 1992; Grau, 1994; Lillo, 1994; Watson, 1994; Gil-Pérez y Valdés, 1996). El consenso existente en torno a la necesidad de esta reorientación merece ser resaltado, pero es preciso ir más allá y mostrar de forma concreta, con ejemplos ilustrativos, lo que cada cual entiende por "prácticas como investigaciones". En caso contrario corremos el peligro de que dicha expresión no pase de ser un simple eslogan, atractivo pero escasamente operativo, mientras la generalidad del profesorado continúa prestando escasa atención a las prácticas de laboratorio (Nieda, 1994).

Si queremos avanzar realmente en la transformación de las prácticas de laboratorio, es necesario analizar cuidadosamente las propuestas concretas, llevarlas al aula y contrastar su validez (Payá, 1991; Gil-Pérez, Navarro y González, 1993; González, 1994; Salinas, 1994; Gil-Pérez y Valdés, 1996). Las propuestas se fundamentan, claro está, en el trabajo de clarificación acerca de la naturaleza de la actividad científica realizado en el capítulo 2 y, muy concretamente, en la incorporación de los aspectos recogidos en ese capítulo.

Desde este punto de vista, una práctica de laboratorio que pretenda aproximarse a una investigación ha de dejar de ser un trabajo exclusivamente "experimental" e integrar muchos otros aspectos de la actividad científica igualmente esenciales. De forma muy resumida recordaremos a continuación el conjunto de aspectos cuya presencia consideramos fundamental para poder hablar de una orientación investigativa del aprendizaje de las ciencias (ver capítulo 2) y, en este caso, de las prácticas. Hemos agrupado dichos aspectos en diez apartados, pero queremos insistir en que no constituyen ningún algoritmo a seguir linealmente, sino un recordatorio de la extraordinaria riqueza de la actividad científica y una llamada de atención contra los habituales reduccionismos.

1. Presentar **situaciones problemáticas abiertas** de un nivel de dificultad adecuado, con objeto de que los estudiantes puedan tomar decisiones para precisarlas y entrenarse, así, en la transformación de situaciones problemáticas abiertas en problemas precisos.

2. Favorecer la reflexión de los estudiantes sobre la relevancia y el posible **interés de las situaciones** propuestas, que dé sentido a su estudio (considerando las posibles implicaciones CTSA, etc.) y evite un estudio descontextualizado, socialmente neutro.

3. Potenciar los **análisis cualitativos**, significativos, que ayuden a comprender y a acotar las situaciones planteadas (a la luz de los conocimientos disponibles, del interés del problema, etc.) y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca.

   Se trata de salir al paso de operativismos ciegos sin negar, muy al contrario, el **papel esencial de las matemáticas como instrumento de investigación**, que interviene en todo el proceso, desde el enunciado mismo de problemas precisos (con la necesaria formulación de preguntas operativas) hasta el análisis de los resultados.

4. Plantear la **emisión de hipótesis** como actividad central de la investigación científica, susceptible de orientar el tratamiento de las situaciones y de hacer explícitas, funcionalmente, las preconcepciones de los estudiantes.

   Insistir en la necesidad de fundamentar dichas hipótesis y prestar atención, en ese sentido, a la *actualización de los conocimientos que constituyan prerrequisitos* para el estudio emprendido.

Reclamar una cuidadosa *operativización de las hipótesis*, es decir, la derivación de consecuencias contrastables, prestando la debida atención al control de variables, a cómo es la dependencia esperada entre las variables, etc.

5. Conceder toda su importancia a la **elaboración de diseños** y a la planificación de la actividad experimental por los propios estudiantes, dando a la **dimensión tecnológica** el papel que le corresponde en este proceso.

   Potenciar, allí donde sea posible, la incorporación de la tecnología actual a los diseños experimentales (ordenadores, electrónica, automatización...), con objeto de favorecer una visión más correcta de la actividad científico-técnica contemporánea.

6. Plantear el **análisis detenido de los resultados** (su interpretación física, fiabilidad, etc.) a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, de las hipótesis manejadas y de los resultados de "otros investigadores" (los de otros equipos de estudiantes y los aceptados por la comunidad científica, recogidos en los libros de texto).

   Favorecer, a la luz de los resultados, la "autorregulación" del trabajo de los alumnos, es decir, las necesarias revisiones de los diseños, de las hipótesis o, incluso, del planteamiento del problema. Prestar una particular atención, en su caso, a *los conflictos cognitivos* entre los resultados y las concepciones iniciales, facilitando así, de una forma funcional, los cambios conceptuales.

7. Plantear la consideración de posibles **perspectivas** (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados...) y contemplar, en particular, las *implicaciones CTSA* del estudio realizado (posibles aplicaciones, repercusiones negativas...).

8. Pedir **un esfuerzo de integración** que considere la contribución del estudio realizado a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos, así como las posibles implicaciones en otros campos del conocimiento.

9. Conceder una especial importancia a la elaboración de **memorias científicas** que reflejen el trabajo realizado y puedan servir de base para resaltar el papel de la comunicación y el debate en la actividad científica.

10. Potenciar la **dimensión colectiva del trabajo científico** organizando equipos de trabajo y facilitando la interacción entre cada equipo y la comunidad científica, representada en la clase por el resto de los equipos, el cuerpo de conocimientos ya construido (recogido en los textos), el profesor como experto, etc.

Hacer ver, en particular, que los resultados de una sola persona o de un solo equipo no pueden bastar para verificar o falsar una hipótesis y que el cuerpo de conocimientos constituye la cristalización del trabajo realizado por la comunidad científica y la expresión del consenso alcanzado en un determinado momento.

Insistimos en que los aspectos contemplados no constituyen ningún algoritmo, ningún intento de ahormar la actividad científica en unos "pasos" o "etapas", sino un recordatorio de la riqueza del trabajo científico. Una riqueza que debe estar presente en los intentos de transformar toda la enseñanza de las ciencias y no sólo las prácticas. De hecho, la orientación propuesta cuestiona la idea de "práctica de laboratorio" como actividad autónoma, puesto que la investigación científica abarca mucho más que el trabajo experimental, y éste no tiene sentido tomado aisladamente.

Terminamos aquí estas consideraciones generales y pasamos seguidamente a transcribir un ejemplo ilustrativo de la orientación propuesta (Gil-Pérez y Valdés, 1996).

UN EJEMPLO ILUSTRATIVO: ESTUDIO DE LA CAÍDA DE GRAVES

¿Por qué hemos elegido esta práctica tan conocida y al mismo tiempo, según una opinión bastante generalizada, tan poco atractiva? "¿Qué interés pueden tener los estudiantes, hoy en día –se suele preguntar–, en dejar caer bolitas por un plano inclinado?". ¿En qué medida van a poder adquirir con ello una visión estimulante y actual de la ciencia? ¿Qué interés puede tener, en definitiva, esa "física prehistórica"?

Son esas mismas preguntas las que nos han movido a elegir una práctica tan "tradicional", pues pretendemos mostrar que la falta de atractivo de este tipo de trabajos deriva de la orientación que habitualmente se les da, y que su replanteamiento como una investigación, en la forma que aquí presentaremos, puede generar auténtico interés y proporcionar también –a través de la incorporación de elementos de la tecnología moderna a los diseños experimentales y al tratamiento de los resultados– una visión más actual de la ciencia.

En lo que sigue reproducimos el programa de actividades que hemos concebido para orientar la investigación de los estudiantes (designadas con la notación A.1., A.2., ...), acompañadas de comentarios que intentan justificar dichas actividades, transcribir sintéticamente las contribuciones de los estudiantes, etc.

Digamos por último, antes de pasar a transcribir esta práctica de caída de graves, que su realización se propone cuando se ha procedido ya a la construcción –planteada también como una investigación, siguiendo las orientaciones que se exponen en el **capítulo 6**– de las magnitudes que permiten describir el movimiento de un objeto, así como las ecuaciones que resultan en el caso de que la velocidad sea constante o lo sea la aceleración. Precisamente dichos conceptos y ecuaciones tienen un carácter de *construcciones tentativas*, de hipótesis de trabajo, y se trata ahora de constatar su validez para el estudio de los movimientos reales, como el de caída de los graves que aquí se propone, es decir, de constatar su capacidad para describirlos y predecir resultados contrastables experimentalmente.

Consideración del posible interés de la situación planteada

A.1. Discutan el posible interés que tiene el estudio de la caída de los cuerpos.

Conviene insistir en la importancia de esta discusión previa acerca del interés del estudio planteado: una orientación investigadora como la que aquí se propone es incompatible con la inmersión de los estudiantes en una tarea cuya finalidad y sentido se les escape. Esto es lo que suele hacerse, sin embargo, incluso cuando existe la voluntad de plantear la tarea como una investigación. Se argumenta al respecto que los alumnos difícilmente podrán conocer las razones que muestran la relevancia del estudio planteado y su posible interés. De hecho, cuando se les plantea dicha reflexión en esta práctica, inicialmente apenas se les ocurre nada, más allá de algunos tópicos como "se trata de un movimiento habitual en la vida cotidiana" y otros del mismo estilo. Pero, una vez roto el "hielo inicial", va surgiendo toda una variedad de argumentos –relativos al lanzamiento de objetos desde diferentes lugares, al movimiento de los proyectiles, etc–, que, además de favorecer una actitud más positiva hacia la tarea, permiten una aproximación funcional a las relaciones CTSA y auspician la adquisición de una concepción preliminar de la tarea. Conviene puntualizar, sin embargo, que lo esencial no es que los estudiantes sean capaces de dar abundantes y valiosos argumentos sobre el interés de la situación planteada, sino que se modifique la actitud con que enfocan la tarea, haciéndola más relevante, menos "ejercicio escolar".

El profesor tiene, claro está, un papel esencial en esta discusión: le corresponde resaltar y "amplificar" los argumentos dados por los estudiantes y añadir otros, intentando relacionarlos con los que ellos han utilizado. Así, la idea de que "se trata de un movimiento habitual en la vida cotidiana" puede dar lugar a que el profesor resalte algunos aspectos como, en primer lugar, la importancia de recurrir a un movimiento muy común, relativamente simple y fácil de reproducir, para comenzar a estudiar la validez de los conceptos introducidos hasta aquí. Se puede insisitir, a ese respecto, en que los investigadores comienzan, en general, con el planteamiento de situaciones sencillas, acotadas, para pasar después a otras más complejas. Si queremos conocer un movimiento con importantes aplicaciones prácticas como el lanzamiento de un proyectil (por citar un ejemplo habitualmente mencionado por los estudiantes), es conveniente comenzar por la situación más elemental, que es, precisamente, la de su caída desde una cierta altura.

Por otra parte, el hecho de que se trate de un movimiento reiteradamente observado permite también hacer una predicción "inquietante": su estudio permitirá constatar –puede anunciarse a los estudiantes– que muchas cosas que nos son familiares resultan sistemáticamente mal interpretadas. Ello les aproximará a una característica esencial de la actividad científica: la necesidad de cuestionar lo que parece obvio, evidente, "de sentido común". Hemos podido comprobar que una predicción como ésta, realizada con cierto énfasis, genera un cierto "suspense" y refuerza el interés del trabajo que se va a realizar.

Cabe señalar, por último, que al evaluar la nueva orientación de los trabajos prácticos, los estudiantes valoran muy positivamente esta reflexión inicial y la consideran uno de sus elementos más importantes y motivadores.

Análisis cualitativo inicial de la situación y precisión del problema

La discusión acerca de la importancia del estudio planteado contribuye, como ya hemos señalado, a que los estudiantes comiencen a formarse una concepción preliminar de la situación problemática. Ello les permite ahora –sin la brusquedad que supone "entrar en materia" directamente– realizar un análisis cualitativo más detenido, que les ayude a acotar la situación y transformarla en un problema preciso. A tal objeto se puede plantear la siguiente actividad:

A.2. Teniendo en cuenta las experiencias cotidianas, ¿qué puede decirse, a título de primeras conjeturas, acerca del movimiento de caída de los cuerpos?

En la discusión con los alumnos aparecen dos núcleos de ideas:

1) Muchos de ellos piensan que cuanto mayor sea la masa del cuerpo, más rápidamente llegará al suelo, aunque algunos otros puedan cuestionarlo, porque *recuerdan* haber estudiado en algún curso precedente que el tiempo de caída es independiente de la masa.
2) Se trata de un movimiento de velocidad creciente, tal vez uniformemente acelerado.

Conviene centrarse, en primer lugar, en la hipótesis de la influencia de la masa. Como vemos, el debate ha permitido sacar a la luz, de un modo natural, las preconcepciones que tienen los alumnos sobre el fenómeno estudiado. Diversas investigaciones han mostrado, en efecto, lo persistente que resulta la creencia, en estudiantes de distintos niveles de enseñanza, acerca de que la rapidez de la caída depende de la masa del cuerpo. Pero estas

preconcepciones adquieren ahora el estatus de hipótesis que deben ser sometidas a prueba y, en caso de verse falsadas, sustituidas por otras, etc.

Cuando se pide a los estudiantes que fundamenten su hipótesis, avanzan argumentos que pueden ser parcialmente ciertos (como "el cuerpo que pesa más es atraído con una fuerza mayor"), pero que conducen a conclusiones incorrectas por incurrir en "reduccionismo funcional" (es decir, por no tener en cuenta otras posibles consecuencias de la modificación de la masa). El argumento principal, sin embargo, es la experiencia reiterada de ver caer, en general, lentamente a objetos muy ligeros y más rápidamente a los más pesados. Es esta "evidencia" la que se impone. y la que merece ser cuestionada, sin detenerse, por ahora, en mayores fundamentaciones, que obligarían a consideraciones dinámicas prematuras y podrían debilitar el muy conveniente "choque" producido por la falsación de la hipótesis.

A.3. Procedan a contrastar las hipótesis acerca de la influencia o no de la masa en el tiempo de caída.

La experiencia que consiste en dejar caer dos cuerpos "pesados" que tienen masas muy diferentes permite a los estudiantes constatar que, en general, el tiempo de caída no depende de la masa, al menos de modo esencial. Pero se plantea también la discusión de por qué cuerpos "muy ligeros", como una hoja de papel, una pluma, etc., caen tan lentamente, haciendo surgir la idea de que ello sea debido a la fricción con el aire. Conviene, pues, proponer la siguiente actividad:

A.4. Diseñen distintas experiencias para mostrar que, si se hace despreciable la fricción con el aire, todos los cuerpos caen prácticamente en el mismo tiempo.

Los alumnos sugieren, a menudo, la utilización de un tubo largo de vidrio del cual se pueda extraer el aire. Galileo no pudo realizar esta experiencia porque en aquella época aún no se había construido la bomba de vacío, y tampoco hoy muchas escuelas cuentan con tales bombas y con el tubo de vidrio adecuado para realizarla. Ello obliga a solicitar otros diseños, aunque valorando como se merece esta propuesta de los estudiantes, que constituye la forma de contrastación más directa.

Los estudiantes proponen entonces diversos e ingeniosos diseños para reducir la fricción de, por ejemplo, una hoja de papel con el aire, similares a los que recoge la historia de la ciencia: colocar la hoja de papel sobre un libro y dejarlos caer; hacer caer verticalmente la hoja de papel colocándola, para ello, junto a un libro también vertical; "arrugar" la hoja de papel hasta transformarla en una pequeña esfera. Los tres diseños, y particularmente el último, llevan a la conclusión de que, en ausencia de resistencia del aire, el tiempo de caída es independiente de la masa de los cuerpos.

Los estudiantes se han visto obligados, pues, a *modificar* su hipótesis inicial y, al propio tiempo, a *replantear* la investigación, acotándola con mayor precisión: ahora se trata de estudiar la caída de los cuerpos en ausencia de resistencia del aire (o cuando ésta es despreciable). Esto es algo que merece ser resaltado, pues es una buena ocasión para que perciban el carácter no lineal de una investigación.

Nos ocuparemos, en lo que sigue, de la segunda de las hipótesis inicialmente formuladas, teniendo ahora en cuenta las precisiones introducidas sobre la ausencia de resistencia del aire.

Operativización de la hipótesis acerca de que el movimiento de caída de los cuerpos es uniformemente acelerado

Dado que no podemos medir directamente la aceleración de caída para comprobar si es constante o no, es necesario *derivar consecuencias contrastables*, que hagan dicha hipótesis operativa:

A.5. Deduzcan, a partir de la hipótesis de que la caída de los cuerpos tiene lugar con aceleración constante, alguna consecuencia directamente contrastable.

Esta derivación implica el manejo del cuerpo de conocimientos disponible, poniendo de manifiesto, una vez más, el importante papel que éste juega a lo largo de toda la investigación. Los estudiantes, tras concluir que las únicas medidas directas posibles, en el estudio de un movimiento, son las de distancias y tiempos, y habiendo deducido ya las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado, recurren a la ecuación $e = 1/2at^2$, para el caso de que la velocidad inicial sea cero. La hipótesis operativa es, pues, que la relación entre los tiempos t de caída desde distintas alturas y los valores h de dichas alturas podrá ser descrita mediante la ecuación $h = kt^2$.

Otra variante para operativizar la hipótesis consiste en construir el gráfico $v = f(t)$ con el fin de comprobar si es una línea recta. Ello remite también, por supuesto, a medidas de distancias y tiempos, pero resulta conveniente mostrar que existen distintos caminos de contrastación, distintas consecuencias contrastables.

Elaboración de estrategias para someter a prueba las hipótesis formuladas

A.6. Diseñen experimentos para contrastar la hipótesis de que el movimiento de caída de los cuerpos es uniformemente acelerado.

Los estudiantes, de entrada, suelen proponer dejar caer una pequeña esfera, para evitar al máximo el rozamiento, desde distintas alturas y medir en cada caso el tiempo empleado en caer para ver si los valores obtenidos se ajustan a la relación prevista. Es necesario hacerles notar que los tiempos de caída son tan pequeños que no es posible realizar medidas precisas de los mismos en esas condiciones. Conciben entonces la posibilidad de fotografiar la caída de la esfera, al lado de una cinta métrica, "con una cámara que dispare automáticamente a intervalos de tiempo regulares y muy breves". Éste es un procedimiento que se ha utilizado, con buenos resultados, –conviene indicar a los estudiantes a modo de refuerzo de sus planteamientos–, recurriendo a fotografías estroboscópicas.

La idea de la automatización aparece como algo básico para evitar los problemas de coordinación entre el instante de soltar la esferita y la puesta en marcha del cronómetro. En ese sentido surge también la propuesta de utilizar relojes electrónicos, que se pongan en marcha al soltarse la esfera y se paren al chocar ésta contra un tope.

Aquí es pertinente señalar que en calidad de reloj electrónico puede emplearse un ordenador, lo que permitiría, además, elevar el nivel de automatización en la realización del experimento (Guisasola et al., 1999). En particular, teniendo en cuenta su capacidad para almacenar datos en memoria, parece lógico intentar, utilizando determinados sensores, el registro de las distancias y los tiempos en un movimiento único, evitando así la necesidad de repetir varias veces las experiencias de caída. Por otra parte, el disponer de los datos en la memoria del ordenador posibilitaría, mediante un programa informático,

elaborado al efecto o profesional, el procesamiento inmediato de ellos. Estas ideas merecen ser resaltadas como ejemplos de aproximación a los actuales *principios tecnológicos de la automatización de experimentos*, lo cual debe constituir uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias en la actualidad (Valdés y Valdés, 1994).

Pese al interés de las propuestas precedentes, conviene hacer notar a los estudiantes que en la época de Galileo no se disponía, obviamente, de medios adecuados ni para la medida precisa de los tiempos ni para la automatización. Ello le llevó a concebir la posibilidad de "debilitar" la caída, haciéndola más lenta. Se trataba de imaginar algún movimiento asociado a la caída de los cuerpos pero que tuviera lugar más lentamente (sin para ello, claro está, introducir fricción). Esto constituye una estrategia ingeniosa para "salir del impase" y merece la pena que los estudiantes se planteen dicha tarea como un ejemplo de la creatividad que exige, en todo momento, el desarrollo de una investigación.

A.7. Conciban varios procedimientos para "debilitar" la caída de los cuerpos, pero sin desvirtuar su naturaleza de caída en ausencia de fricción.

Cabe señalar que, en ocasiones, algunos estudiantes conocen ya el experimento del plano inclinado, de aquí que la actividad solicite *varios* procedimientos. Los estudiantes encuentran serias dificultades para imaginar un diseño adecuado, y sus primeras propuestas suelen incluir fuerzas de resistencia ("dejar caer la esferita en un tubo lleno de un líquido viscoso", "colgar la esferita de un pequeño paracaídas"...). La discusión de estas propuestas y la insistencia del profesor en que se trata de lograr que el cuerpo caiga más lentamente *sin introducir* fuerzas de resistencia al movimiento conduce, sin embargo, a propuestas adecuadas –además de dejar caer la esferita por un plano inclinado– como, por ejemplo, colgar dos masas iguales de los extremos de un cordel que pasa por una polea sin rozamiento apreciable y colocar una pequeña sobrecarga en uno de los extremos. Otro diseño parecido y habitualmente propuesto consiste en utilizar un carrito que pueda moverse por un plano horizontal con fricción despreciable, del que tira –con ayuda de una cuerda y polea fija al extremo del plano– un pequeño cuerpo que cae verticalmente.

Es preciso insistir en que merece la pena tener algo de paciencia y permitir a los estudiantes que lleguen a concebir estos diferentes diseños, pues ello constituye una excelente ocasión para que entren en contacto con una de las tareas más creativas y satisfactorias del trabajo científico (lamentablemente escamoteada en las prácticas habituales, cuyo diseño se da ya elaborado). Una tarea que, como ya hemos señalado, pone de relieve el papel central de la tecnología en el desarrollo científico.

Se puede proceder ahora a realizar *alguno* de los experimentos diseñados sin el peligro de que sean vistos como tareas tediosas, sin interés y sin vinculación con lo que es la ciencia actual.

Planificación y realización de los experimentos

Aunque al llegar a este punto se posee ya una concepción general de los diseños, ello no significa que ahora quede una actividad puramente manipulativa.

A.8. Realicen el experimento relativo a la caída de una esferita por un plano inclinado.

Incluso en un diseño tan elemental como éste, desde el punto de vista técnico, surgen numerosos problemas que deben ser resueltos. Por ejemplo, ¿cómo soltar la esfera para no comunicarle velocidad inicial?, o ¿cómo coordinar el inicio y final del movimiento con la

puesta en marcha y detención del cronómetro? La dificultad de esta coordinación –que se traduce en dispersiones muy significativas de los tiempos, dada su brevedad– hace ver la conveniencia de automatizar el proceso, por ejemplo, con ayuda de un ordenador. Esto requiere –si los estudiantes carecen de experiencia en este campo– una intervención mucho más directa del profesor, pero la comprensión básica de los montajes y del programa informático requerido está al alcance de los estudiantes y permite la vinculación de esta investigación con elementos fundamentales de la tecnología moderna.

Utilizando la función TIMER del lenguaje BASIC, por ejemplo, es posible medir intervalos de tiempo con exactitud de unas cinco centésimas de segundo, lo que sería suficiente en el caso de la caída por un plano inclinado, y mediante un programa convenientemente elaborado dicha exactitud puede llegar hasta 10^{-5}s (Valdés y Valdés, 1998). La entrada de información digital al ordenador se efectúa empleando sencillos interruptores: por ejemplo, la esfera puede estar cerrando inicialmente un circuito conectado al ordenador, y al soltarla, es decir, al abrir el circuito, se pone en marcha el reloj, luego, cuando choca contra un tope móvil, provocando la apertura de otro circuito, se realiza la lectura del tiempo transcurrido. El registro de la información puede hacerse a través del puerto de juegos mediante la función INP.

No es necesario, sin embargo, proceder en este momento a un estudio detenido de todo el proceso de automatización, programas informáticos, etc. Ello constituye, en sí mismo, una investigación tan exigente o más que el estudio del movimiento a que estamos procediendo. Por eso puede ser más adecuado aquí limitarse a *utilizar* los medios disponibles y dejar planteado, como perspectiva futura, el estudio detenido de sus fundamentos, aplicaciones generales, etc. Se trataría, pues, de presentar brevemente a los estudiantes el montaje que va a utilizarse -siguiendo su propuesta de automatización- y pedirles la realización del experimento, que ahora puede ser, directamente, la caída vertical, gracias a la mayor precisión alcanzada en la medida de los tiempos.

A.9. Lleven a cabo el experimento relativo a la caída vertical, automatizando las mediciones de tiempo con ayuda de un ordenador.

Por último, si se dispone del equipo que permita obtener la fotografía estroboscópica, se puede proceder a la realización de este experimento, aunque plantea dificultades que no son fáciles de resolver en el aula. Es posible, sin embargo, proporcionar a los estudiantes la fotografía obtenida "por otros investigadores".

A.10. La figura que se proporciona muestra la fotografía estroboscópica de una esferita que se dejó caer desde cierta altura. Procedan a la construcción de una tabla de las posiciones, e, que va ocupando la esferita, en función del tiempo, t.

Los estudiantes han de efectuar la lectura cuidadosa de las distancias recorridas por la esferita (con ayuda de la cinta métrica que aparece en la misma foto) y el cálculo de los tiempos correspondientes.

Ésta puede ser una buena ocasión para recordar que la verificación de una hipótesis implica, en general, el trabajo de numerosos equipos, y que no tiene sentido pensar que un solo equipo ha de realizar todos los experimentos posibles. Lo que sí es necesario es poner en común los distintos resultados obtenidos y constatar en qué medida son coherentes entre sí. Ello nos remite, pues, al análisis de los resultados.

Análisis y comunicación de los resultados y de las perspectivas abiertas

A.11. Analicen e interpreten los resultados obtenidos en los experimentos realizados.

Para procesar los datos obtenidos también puede emplearse algún programa informático, por ejemplo, tabuladores electrónicos como *Excel* o *Microcal Origin*. Los resultados conseguidos con el plano inclinado utilizando un cronómetro manual parecen ajustarse a la relación $e = kt^2$, aunque con elevados márgenes de imprecisión. La automatización de la medición del tiempo mejora muy sensiblemente esos resultados, incluso para la caída vertical desde pequeñas alturas. En este caso el gráfico de $e = f(t^2)$ es una clara línea recta, sin apenas desviaciones. Lo mismo ocurre con los valores que se obtienen a partir de la fotografía estroboscópica.

Se puede ir un poco más lejos en el análisis de los resultados y solicitar a los estudiantes que determinen el valor de la aceleración de caída libre y lo cotejen con el que se proporciona en los libros de texto.

A.12. Determinen el valor de la aceleración de caída libre de un cuerpo a partir de los datos obtenidos.

Los valores obtenidos para esta aceleración son, en general, muy próximos al valor aceptado por la comunidad científica, lo que tiene un efecto particularmente motivante para los estudiantes.

Todos los resultados apoyan, pues, la hipótesis de la aceleración de caída constante. Ésta era, por lo demás, la hipótesis inicial. Podría pensarse, por ello, que quizás no era necesario un tratamiento tan detenido y que una simple verificación con un único experimento bastaba. Sin embargo, es preciso dejar bien patente que la aceptación de un resultado por la comunidad científica tiene muy serias exigencias que obligan a la obtención de una multiplicidad de resultados en distintas situaciones y a mostrar la coherencia de todos ellos. Ésta es la mejor forma de romper con aceptaciones acríticas de las "evidencias de sentido común" como, por ejemplo, la creencia de que los cuerpos caen tanto más aprisa cuanto mayor es su masa. Debemos ser conscientes, a este respecto, de que, aunque dicha hipótesis ha sido claramente falsada con los experimentos realizados en la primera parte de esta investigación, la superación permanente de estas ideas espontáneas no puede ser el resultado de algunos experimentos como los realizados, sino que exige la adquisición de un cuerpo de conocimientos coherente y global y, más aún, una nueva forma de razonar, de enfrentarse a los problemas.

De hecho, los estudiantes no pueden explicarse por qué cuerpos de distinta masa caen con la misma aceleración; y no lo harán mientras no se apropien del sistema de conceptos de la mecánica newtoniana. Por ello, a pesar de los resultados obtenidos en esta investigación, bastantes estudiantes vuelven a utilizar sus esquemas iniciales en cuanto se varía ligeramente el contexto. Dicho de otro modo, los cambios conceptuales no se producen con tratamientos puntuales, sino como resultado de la adquisición de un cuerpo de conocimientos capaz de desplazar, de forma global, las concepciones iniciales. Esto es algo que debe quedar claro al discutir las perspectivas abiertas por la investigación.

A.13. Consideren las perspectivas abiertas por esta investigación susceptibles de originar nuevos estudios.

Muchas de las perspectivas han sido consideradas ya en los momentos oportunos durante el desarrollo de la investigación, pero al finalizar ésta conviene recapitularlas. Podemos referirnos así, entre otras tareas que han quedado pendientes, a:

- explicar el hecho de que, en ausencia de resistencia del aire, todos los cuerpos caen con la misma aceleración;
- extender la investigación al estudio de otros movimientos de interés práctico, como el de los proyectiles;
- investigar los factores de los cuales depende la fuerza de resistencia que ofrece el aire durante la caída de un cuerpo;
- diseñar dispositivos que permitan elevar el nivel de automatización del registro de posiciones y tiempos durante el movimiento de un cuerpo, profundizando en las características de distintos tipos de sensores y en el funcionamiento, a este respecto, de un ordenador, diseñando sencillos programas que posibiliten el registro de información digital, etc.

Conviene, por último, que los estudiantes recojan el trabajo realizado en una memoria de la investigación, planteada como práctica de un aspecto esencial de la actividad científica: la comunicación.

A.14. Elaboren una memoria de la investigación realizada, destinada a ser publicada en las actas del curso.

Es preciso dar a esta actividad el sentido de la auténtica comunicación científica, superando su connotación habitual de simple ejercicio escolar, destinado a ser calificado por el profesor. En este sentido, puede ser muy conveniente hacer jugar el papel de "referees" a cada grupo de estudiantes, dándoles a analizar un cierto número de memorias para que sugieran modificaciones a los autores, etc. La "publicación" de unas actas del trabajo realizado durante el curso y la organización de sesiones de comunicación oral (con ayuda de transparencias, videos, simulaciones, etc.) y de sesiones "póster", contribuye a dar interés a este esfuerzo de comunicación, además de proporcionar una visión más correcta del trabajo científico, buena parte del cual está centrado en dicha comunicación.

Recapitulación del estudio realizado acerca de la caída de los cuerpos

La orientación de los trabajos prácticos que hemos ilustrado con este ejemplo pretende que los estudiantes se familiaricen con la extraordinaria riqueza de la actividad científica, superando los reduccionismos habituales. Es conveniente, por ello, terminar solicitando una *recapitulación de los aspectos más destacados del tratamiento realizado*, con objeto de favorecer una meta-reflexión que refuerce la apropiación consciente de las estrategias del trabajo científico.

Puede ser conveniente también que los profesores procedamos a dicha recapitulación en cada práctica que preparemos, tanto para poder apoyar la que realicen los estudiantes como para analizar si el programa de actividades, diseñado para dirigir la investigación, es adecuado para proporcionar una visión de la ciencia como actividad abierta y creativa.

Invitamos a los lectores a realizar dicha recapitulación para el ejemplo que hemos transcrito, con la esperanza de que el resultado les parezca una propuesta inicialmente aceptable y suficientemente abierta para permitir su apropiación personal y perfeccionamiento, en un proceso que convierte también el trabajo docente en una actividad investigadora.

Antes de finalizar el capítulo queremos llamar la atención sobre otro tipo de "prácticas", destinadas al diseño y elaboración de productos tecnocientíficos *que han de funcionar*, y que poseen un gran poder motivador para los estudiantes (¡y profesores!), por su naturaleza de reto, de problema abierto que va más allá de lo puramente escolar.

Se trata de tareas que pueden contribuir a introducir y manejar conceptos de forma sencilla y atractiva y que permiten aprovechar en el aula algunas de las características más positivas de una educación científica no formal: elaboración de productos, a partir de materiales de fácil acceso y como respuesta a problemas tecnocientíficos de interés, a menudo destinados a ser presentados en sesiones abiertas a un público amplio, etc.

DISEÑO Y ELABORACIÓN POR LOS ESTUDIANTES DE PRODUCTOS TECNOCIENTÍFICOS SENCILLOS

Comenzaremos proponiendo un ejemplo de experiencia elemental que puede poner en funcionamiento conocimientos y habilidades tecnocientíficas:

Propuesta de trabajo

¿Cómo conseguir que un objeto se sumerja en el agua y emerja a voluntad nuestra?

Conviene comenzar discutiendo el ***interés de la cuestión planteada***, lo que lleva a los estudiantes a referirse a los submarinos, al ascenso y descenso de algunos peces, etc.

Después les planteamos que ***indiquen en qué podríamos basarnos*** para lograr dicho ascenso y descenso. En respuesta a esta cuestión, los alumnos sugieren, entre otras propuestas, que ello puede lograrse modificando la densidad del objeto, haciendo que entre agua en el mismo o sacándola fuera.

A continuación se trata de que ***conciban algún montaje sencillo***. Algunos estudiantes proponen llevar esto a la práctica mediante un montaje que hemos esquematizado en la **figura 1**.

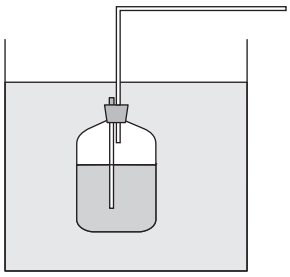


Figura 1. Ilustración del funcionamiento de un submarino

Como puede verse, el montaje consiste, básicamente, en sumergir en el agua un frasco de vidrio con un tapón provisto de dos orificios. De uno de ellos sale un tubo largo de goma hacia fuera (para poder soplar o aspirar). El otro orificio es atravesado por un tubo que llega al fondo del frasco. Al soplar por el tubo de goma, el agua sale del frasco y se llena de aire, por lo que su densidad disminuye y asciende. Y si aspiramos, entra el agua y el "submarino" desciende. Naturalmente, en un submarino real el procedimiento será otro, pero el principio es semejante: llenar o vaciar los tanques de que va provisto con agua del mar. El diseño propuesto por los estudiantes puede llevarse a la práctica y funciona muy bien. Pero es interesante también plantear otro diseño, que se inspira en el "Ludión" o "***Diablillo de Descartes***", esquematizado en la **figura 2**.

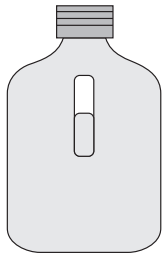


Figura 2. Esquema del "Diablillo de Descartes"

Como puede verse, es posible construir el ludión introduciendo, en un frasco o botella de plástico transparente, un tubito de ensayo invertido parcialmente lleno de agua, de forma que su densidad resulte algo menor que la del agua y quede flotando. Si cerramos la botella y la presionamos ligeramente, el tubito se hunde, mientras que si cesamos la presión emerge de nuevo.

Éste no es un diseño que los estudiantes conciban por ellos mismos, por lo que habrá que detenerse en ***discutir su funcionamiento*** y que lleguen a comprender que, al presionar la botella, el aumento de presión en su interior hace que el aire del tubito se comprima, entrando algo más de líquido, con lo que la densidad aumenta y el tubo se hunde. Conviene, pues, pedirles que intenten explicar con detalle por qué el tubo de ensayo desciende al presionar la botella.

Ello da lugar a referencias al principio de Pascal, a las propiedades de los gases (relación presión-volumen) y a la flotabilidad (asociada al principio de Arquímedes y a la diferencia de densidades).

Por otra parte, su realización práctica es relativamente sencilla y el resultado es realmente atractivo. Se trata, pues, de una experiencia muy recomendable, que pone en juego toda una serie de conceptos que podemos resumir en las siguientes **palabras clave:** densidad, flotabilidad, Principio de Arquímedes, propiedades de los fluidos, Principio de Pascal, compresibilidad de los gases.

Insistimos en la conveniencia de realizar numerosas experiencias tecnocientíficas como la que acabamos de presentar, tanto por su efecto motivador como por la ocasión que proporcionan de integrar conocimientos a partir de situaciones problemáticas de interés.

Propuesta de trabajo

Los profesores solemos tener acceso a experiencias sencillas que son susceptibles de interesar a los estudiantes por sus resultados sorprendentes, por la posibilidad que les brindan de poner en práctica su inventiva, etc., y que contribuyen decisivamente a un mejor aprendizaje. Elaboren listados de tales experiencias con objeto de preparar un fondo común y de ir poniéndolas en práctica.

Estas experiencias pueden plantearse en forma de preguntas en torno a cómo mostrar o conseguir algo concreto, pero también en forma de "por qué" o con formato "periodístico", para mejor atraer la atención.

Se trata de pedir a los estudiantes (y previamente, por supuesto, plantearse los mismos profesores) que conciban distintos procedimientos para resolver el problema planteado, explicando con algún detalle la forma de proceder, los conocimientos científicos implicados, las relaciones CTSA vinculadas, etc., pero poniendo el acento en la realización práctica, en el correcto funcionamiento del diseño y en la presentación "al público".

Damos a continuación, a título de ejemplo, una relación de preguntas que hemos utilizado para proponer a los estudiantes este tipo de experiencias:

1. ¿Cómo mostrar que los gases ocupan un volumen?
2. ¿Cómo trasvasar aire de un recipiente a otro?
3. ¿Cómo mostrar que los gases pesan?
4. ¿Cómo mostrar que la atmósfera ejerce una gran presión?
5. ¿Cómo mostrar la influencia de la temperatura sobre la presión de los gases?
6. ¿Cómo hacer saltar una moneda indefinidamente sobre el cuello de una botella?
7. ¿Cómo inflar un globo sin soplar?
8. ¿Cómo mostrar de una forma llamativa la influencia de la cantidad de gas sobre la presión que ejerce?
9. ¿Cómo mostrar la gran influencia de la presión sobre el volumen de un gas y viceversa?
10. ¿Cómo conseguir que el humo descienda en lugar de que ascienda?
11. ¿Cómo hacer que una botella se trague un huevo cocido?
12. ¿Cómo hacer subir el agua que llena un plato por una botella o vaso puesto boca abajo?
13. ¿Cómo evitar que una botella llena de agua y sin tapón se vacíe al darle la vuelta?
14. ¿Cómo evitar que el agua de un vaso caiga al darle la vuelta (sin ponerle una tapa)?
15. ¿Cómo conseguir que una botella de plástico e incluso una lata de refresco se aplaste sin que la comprimamos?
16. ¿Cómo conseguir que un objeto se sumerja en el agua y emerja a voluntad nuestra?

17. ¿Cómo podemos hacer subir o bajar, a voluntad, un pequeño objeto dentro de una botella de agua?
18. ¿Cómo "vencer" un martillo con una hoja de periódico?
19. ¿Cómo perforar una patata cruda con una pajita?
20. Colocar una bola de papel dentro del cuello de una botella horizontal y soplar hacia dentro. ¿Qué pasará?
21. Llenamos dos embudos iguales con agua. ¿Cómo lograr que uno de ellos se vacíe más deprisa?
22. ¿Cómo hacer que una porción de aceite se transforme en esfera?
23. ¿Cómo pinchar un globo sin que explote?
24. ¿Cómo hacer que una aguja flote en la superficie del agua?
25. ¿Cómo conseguir que una hoja de papel caiga tan rápidamente como un objeto pesado?
26. ¿Cómo conseguir, en una fila de monedas iguales, que una salga lanzada sin que las otras se muevan? ¿Y dos?
27. ¿Cómo construir una nave voladora con dos vasos de corcho blanco?
28. ¿Cómo saber si un huevo está cocido o no?
29. ¿Cómo hacer que un huevo flote en un vaso de agua?
30. ¿Cómo hacer que flote un objeto más denso que el agua, como la plastilina?
31. ¿Cómo hacer bailar unas pasas con la ayuda de un agua tónica?
32. ¿Cómo hacer que una naranja deje de flotar en el agua?
33. ¿Cómo conseguir, con dos tenedores y un trozo de pan, un "móvil" capaz de guardar el equilibrio?
34. ¿Cómo conseguir, con tres palillos, un "móvil" capaz de guardar el equilibrio?
35. ¿Cómo construir, con una hoja de papel, un objeto capaz de ponerse de "pie"?
36. ¿Cómo conseguir que al tirar de un objeto en una dirección se vaya en la contraria?
37. ¿Cómo lanzar un proyectil sin utilizar sustancias peligrosas?
38. ¿Cómo construir una "catapulta" con dos pinzas de tender la ropa?
39. ¿Cómo lanzar un objeto mediante un globo?
40. ¿Cómo lanzar un objeto mediante una pajita?
41. ¿Cómo lanzar un objeto mediante una aspirina efervescente?
42. ¿Cómo hacer que las llamas de dos velas se atraigan?
43. ¿Cómo sacar una pelota de "ping-pong" del interior de una taza por medio de una pajita (pero sin tocarla)?
44. ¿Cómo hacer que una pelota de "ping-pong" se mueva, flotando en el aire, en la dirección que queramos, sin que caiga?
45. ¿Cómo elevar una pelota de "ping-pong" soplándola hacia abajo?
46. ¿Cómo "contagiar" la oscilación de un péndulo a otro péndulo (sin tocarlo)?

47. ¿Cómo conseguir que una pelota dé un gran salto, dejándola caer sin impulsarla?
48. ¿Cómo hacer que un "CD" se desplace sin fricción sobre una superficie?
49. Tenemos una regla apoyada sobre los dedos índices de ambas manos. Intentar desplazar el índice de una mano, por debajo de la regla, hasta donde está el otro dedo índice. Explicar lo que ocurre.
50. ¿Cómo lograr que la fricción de nuestra mano sobre la superficie de una mesa sea tan alta que no podamos desplazarla sobre la misma?
51. ¿Cómo lograr que la fricción entre las palmas de nuestras manos sea tan alta que no podamos desplazar una sobre la otra?
52. ¿Cómo hacer que un bote cilíndrico, lanzado a rodar sobre una superficie, se pare rápidamente mientras otro bote igual (y del mismo peso) continúe girando?
53. ¿Cómo conversar con una persona muy alejada sin que nos escuchen los demás y sin utilizar teléfonos comerciales?
54. ¿Cómo oír más intensamente el sonido que se obtiene al golpear una cuchara con otra?
55. ¿Cómo hacer sentir la vibración de una voz?
56. ¿Cómo hacer callar un cascabel (es decir, que no se oiga aunque lo agitemos)?
57. ¿Cómo hacer cantar un tubo flexible de plástico?
58. ¿Cómo hacer cantar una copa?
59. ¿Cómo hacer que una copa cante más o menos agudo?
60. ¿Cómo conseguir tener papel en contacto con una llama sin que se queme?
61. ¿Cómo levantar un cubito de hielo con un cordel sin atarlo?
62. Quemar la parte superior de un cilindro de papel (por ejemplo, una bolsita de infusión vacía) puesto verticalmente. ¿Qué pasará? ¿Por qué?
63. ¿Cómo ver las cosas hacia abajo sin lentes ni espejos?
64. ¿Cómo ver por encima de un obstáculo?
65. Un vaso opaco nos impide ver la moneda que reposa en su fondo. ¿Cómo conseguir verla sin acercarnos más?
66. ¿Cómo podemos ver blanco algo pintado de colores?
67. ¿Cómo podemos hacer creer que hemos doblado una cucharilla?
68. ¿Cómo hacer ver el arco iris sin necesidad de lluvia?
69. ¿Cómo conseguir fuego con los rayos del Sol?
70. ¿Cómo hacer bailar un fino chorrito de agua obtenido abriendo un grifo?
71. ¿Cómo lograr que una regla de plástico gire "huyendo" de otra regla de plástico?
72. ¿Cómo hacer saltar unos pequeños muñequitos de papel?
73. ¿Cómo conseguir que un globo hinchado se quede en el techo?

ALGUNAS CONCLUSIONES

Terminamos aquí este capítulo dedicado a la reorientación del trabajo experimental, de acuerdo con el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada que avanzamos en el capítulo 2. Una reorientación basada en el cuestionamiento de las concepciones empiro-inductivistas y demás distorsiones de la naturaleza de la actividad científica y, al propio tiempo, en un esfuerzo por incorporar plenamente dicho trabajo experimental, tan insuficientemente presente, habitualmente, en la enseñanza de las ciencias.

Los docentes, en general, valoran de forma muy positiva el enfoque de las prácticas de laboratorio como investigaciones, rompiendo con su habitual orientación como "recetas de cocina". Pero esta relativa facilidad para aceptar la transformación de los trabajos prácticos sigue escondiendo, en nuestra opinión, una visión reduccionista de la actividad científica, que asocia prioritariamente investigación a trabajo experimental, lo que ha actuado como obstáculo en la renovación de otros aspectos del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, como, muy concretamente, la resolución de problemas o la forma en que se introducen los conceptos. Es importante por ello abordar con mayor detenimiento las aportaciones de la investigación didáctica en estos otros campos, lo que haremos en los **capítulos 5** y **6**. Pasaremos ahora a estudiar, en el capítulo 5, la necesaria transformación de los problemas de lápiz y papel.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir de los siguientes trabajos:

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori. (Capítulo 1: "Las prácticas de laboratorio como interés básico de los alumnos y profesores de ciencias").

GIL-PÉREZ, D. y VALDÉS, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163.

Referencias bibliográficas en este capítulo

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. y HANESIAN, H. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.

BARBERÁ, O. y VALDÉS, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379.

BUNGE, M. (1976). *La Investigación Científica*. Barcelona: Ariel.

GARDNER, P. L. (1994). Representations of the relationship between Science and Technology in the curriculum. *Studies in Science Education*, 24, 1-28.

GIL-PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

GIL-PÉREZ, D., NAVARRO, J. y GONZÁLEZ, E. (1993). Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado (II). Una experiencia de transformación de las prácticas del ciclo básico universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 7(1), 33-47.

GIL-PÉREZ, D. y VALDÉS, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163.

GIORDAN, A. (1978). Observation-Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils? *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73. Traducción española en *Infancia y Aprendizaje*, 1978, número 13.

GONZÁLEZ, E. (1992). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 206-211.

GONZÁLEZ, E. (1994). Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de física. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.

GONZÁLEZ DE LA BARRERA, L. (2003). Las Prácticas de Laboratorio de Química en la Enseñanza Universitaria. Análisis crítico y Propuesta de Mejora basada en la Enseñanza-Aprendizaje por Investigación Orientada. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València.

GRAU, R. (1994). ¿Qué es lo que hace difícil una investigación? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 27-35.

GUISASOLA, J., BARRAGUÉS, J., VALDÉS, P., VALDÉS, R. y PEDROSO, F. (1999). La resolución de problemas en el laboratorio y la utilización del ordenador *Revista Española de Física*, 13(3), 62-65.

HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, M.A.: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM; Instituto de Investigaciones Filosóficas, México D. F.: UNAM/Paidós.

HANSON, N. R. (1958). *Patterns of Discovery. An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge, M.A.: Cambridge University Press. Traducción de E. García Camarero (1977): *Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*. Madrid: Alianza.

HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.

HODSON, D. (1993). Re-thinking old ways: towards more critical approach to practical work in school science, *Studies in Science Education*, 22, 85-142.

HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 47-56.

LAZAROWITZ, R. y TAMIR, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. En Gabel, D. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nueva York: McMillan Pub Co.

LILLO, J. (1994). Los trabajos prácticos de Ciencias Naturales como actividad reflexiva, crítica y creativa *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 47-56.

LUNETTA, V. (1998). The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.), *International Handbook of Science Education*, London: Kluwer Academic Publishers, 249-262.

MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL-PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS MARTÍ, A., GUISASOLA, J., LÓPEZ CEREZO J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.

MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.

NIEDA, J. (1994). Algunas minucias sobre los trabajos prácticos en la Enseñanza Secundaria. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 15-20.

PAYÁ, J. (1991). Los trabajos prácticos en la enseñanza de la física y química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.

SALINAS, J. (1994). Las prácticas de física básica en laboratorios universitarios. Tesis doctoral: Departament de Didáctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.

SALINAS, J. y COLOMBO DE CUDMANI, L. (1992). Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida, *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 10-17.

TAMIR, P. y GARCÍA, M. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de textos de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 3-12.

VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias,* 12(3), 412-415.

VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1998). Familiarización de los estudiantes con la automatización de experimentos mediante computadoras: determinación de la velocidad del sonido en el aire. *Revista Española de Física*. 12, 33-38.

WATSON, J. (1994). Diseño y realización de investigaciones en las clases de Ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 57-65.

Capítulo 5

¿Cómo convertir los problemas de lápiz y papel en auténticos desafíos de interés?

Joaquín Martínez Torregrosa y Carlos Sifredo

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Cuáles pueden ser las causas del fracaso generalizado en la resolución de problemas de lápiz y papel?
- ¿Qué hemos de entender por problema?
- ¿En qué medida las explicaciones de los problemas realizadas por los profesores o expuestas en los libros de texto están de acuerdo con su naturaleza de tarea desconocida, para la que de entrada no se posee solución?
- ¿Cómo habrá que enfocar la resolución de un auténtico problema, que constituye una situación para la que no se tiene respuesta elaborada?

EXPRESIONES CLAVE

Fracaso en la resolución de problemas; qué entender por problema; replanteamiento de la resolución de problemas; resolución de problemas como investigación; situaciones problemáticas abiertas.

INTRODUCCIÓN: PROVOCANDO EL CUESTIONAMIENTO

Como ya hemos comentado en la conclusión del tema precedente, la transformación de las prácticas de laboratorio en una actividad con las características de una investigación es rápidamente asumida por el profesorado, pero esa transformación encuentra mayores dificultades en el caso de la resolución de problemas de lápiz y papel, de la que vamos a ocuparnos en este capítulo, o en el de la introducción y manejo de conceptos, que abordaremos en el capítulo 6. Ello sería expresión del peso de las concepciones empiro-inductivistas que asocian investigación, primordialmente, a trabajo experimental. La misma investigación didáctica sobre resolución de problemas se ha visto afectada por esta limitación y las propuestas elaboradas han tenido una orientación muy alejada de lo que es una actividad de investigación (Maloney, 1994).

Sin embargo, las dificultades para lograr una mayor efectividad en lo que aparece como una de las causas principales de fracaso en la educación científica, acabaron por obligar a un replanteamiento total de las orientaciones para la resolución de problemas. Reproduciremos aquí el proceso seguido en seminarios dirigidos a profesores en formación y en activo sobre resolución de problemas, justamente considerada una actividad central en la enseñanza de las ciencias y, en particular, en el proceso de evaluación. Intentaremos mostrar así que dicho trabajo hace posible la puesta en cuestión de la didáctica habitual de resolución de problemas y la elaboración fundamentada de propuestas más efectivas en una de las actividades del proceso de enseñanza-aprendizaje que más contribuye, insistimos, al fracaso escolar (Gil et al., 1991).

Proponemos, para empezar, el siguiente pequeño ejercicio, cuya realización favorece una fecunda discusión posterior.

Propuesta de trabajo

Un objeto se mueve a lo largo de su trayectoria según la ecuación:

$$e = 25 + 40\,t - 5\,t^2$$

(e en metros y t en segundos).

¿Qué distancia habrá recorrido a los 5 segundos?

Cuando se propone esta actividad en un curso para profesores de física y química en activo, la casi totalidad de los asistentes solemos "resolver" muy rápidamente el ejercicio, dando como respuesta, en general, 100 m (por simple sustitución en la ecuación) o 75 m (cuando se tiene en cuenta que en el instante inicial el móvil se encuentra ya a 25 m del origen). Sin entrar en la discusión de esta discrepancia, conviene proponer que se calcule la distancia recorrida por el mismo móvil en 6 segundos. Los resultados obtenidos ahora (85 m quienes antes obtuvieron 100 m, y 60 m quienes obtuvieron 75) muestran claramente que "algo va mal" (¡el móvil no puede haber recorrido en más tiempo menos distancia!).

Éstos son los resultados obtenidos habitualmente por los alumnos y también, repetimos, por muchos profesores. La resolución de este aparente enigma es, por supuesto, sencilla: tras una pequeña reflexión, los asistentes (y también los alumnos en sus clases) comprenden que la ecuación $e = 25 + 40\,t - 5\,t^2$ corresponde a la del movimiento de un objeto que avanza con velocidad decreciente ($v = 40 - 10\,t$) hasta pararse a los 4 s y comenzar a retroceder. Obtienen así los resultados correctos, que son 85m a los 5s (80 m hacia delante y 5 hacia atrás) y 100 m a los 6 s (80 m hacia delante y 20 hacia atrás).

Dificultades similares se han detectado, a menudo, en talleres y seminarios desarrollados en diversos países (Selvaratman, 1974; Sifredo Barrios, 2000). Es necesario, pues, reflexionar sobre el hecho de que problemas sencillos conduzcan a resultados erróneos de forma muy generalizada.

Propuesta de trabajo

¿A qué cabe atribuir unos resultados erróneos tan generalizados en un problema como el anterior? ¿De qué pueden ser índice? ¿Qué sugieren?

Los resultados del ejercicio que acabamos de comentar actúan como "toma de conciencia" y conducen a un minuciosos debate, que pone en cuestión nuestra propia actividad como profesores. Se hace referencia así, entre otras, a las siguientes características de la orientación dada habitualmente a la resolución de problemas:

- La falta de reflexión cualitativa previa, o, dicho de otro modo, el operativismo mecánico con que se abordan habitualmente los problemas, incluso por los mismos profesores. Conviene recordar a este respecto las palabras de Einstein: "Ningún científico piensa con fórmulas. Antes que el físico comience a calcular debe tener en su cerebro el curso de los razonamientos. Estos últimos, en la mayoría de los casos, pueden ser expuestos con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas constituyen el paso siguiente". Sin embargo, insistimos, la didáctica habitual de resolución de problemas suele impulsar a un operativismo abstracto, carente de significado, que poco puede contribuir a un aprendizaje significativo.
- Un tratamiento superficial que no se detiene en la clarificación de los conceptos. Así, en el problema considerado se producen evidentes confusiones entre posición o distancia al origen de referencia, desplazamiento y distancia recorrida. Y no se trata de una cuestión puramente terminológica de escasa importancia, sino índice, repetimos, de un tratamiento superficial que en poco puede favorecer una auténtica comprensión de los conceptos. Más aún, buscando una aparente mayor sencillez, se manejan casi exclusivamente situaciones que favorecen las confusiones. En el caso que nos ocupa, por ejemplo, la mayor parte de los problemas sobre móviles toman como sistema de referencia (explícita, o, más a menudo, implícitamente) el punto e instante en que el movimiento se inicia y el sentido positivo del movimiento, con lo cual la posición "e" (distancia al origen) coincide con el desplazamiento; si además no hay retrocesos, el valor de la distancia recorrida coincide también. La repetición de ejemplos en que esto ocurre lleva no sólo a confundir los conceptos, sino incluso a hacer "innecesaria" la atención al sistema de referencia. El carácter relativo de todo movimiento es así escamoteado, negado en la práctica, por mucho que se haya insistido en él teóricamente. Y es necesario tener presente que esta costumbre de tomar siempre como referencia implícita el punto e instante de donde parte el móvil corresponde a tendencias profundamente arraigadas en el niño a centrar todo estudio en sí mismo, en su propia experiencia, generalizándola acríticamente (Piaget, 1970).

  De este modo, los problemas, en vez de contribuir a un aprendizaje significativo, ayudando a romper con visiones confusas, favorecen su afianzamiento. Y ello ocurre incluso –o, mejor, sobre todo– cuando se llega a resultados correctos. Pensemos en los

numerosos ejercicios sobre caída de graves que se realizan y que los alumnos llegan a hacer casi con los ojos cerrados: ello no impide que sigan pensando que "un cuerpo de doble masa caerá en la mitad de tiempo". Es decir, los problemas "correctamente" resueltos no han permitido poner en cuestión la idea ingenua de que el tiempo de caída libre de un cuerpo depende de su masa.

En resumen: los problemas, en vez de ser ocasión privilegiada para construir y profundizar los conocimientos, se convierten en refuerzo de errores conceptuales y metodológicos. (Volveremos sobre estas cuestiones en el capítulo siguiente, dedicado al aprendizaje de conceptos). Podría pensarse que hay mucha exageración en estas conclusiones, pero basta referirse a los abundantes análisis realizados sobre los problemas resueltos en los textos o por los profesores, para constatar que el operativismo, el tratamiento superficial -sin ni siquiera análisis de resultados- es realmente muy general entre el mismo profesorado, tanto de bachillerato como de primeros cursos universitarios (Bullejos, 1983; Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1984; Garrett et al., 1990).

Una discusión como la anterior motiva, pues, que los profesores "tomemos conciencia" de las deficiencias de la didáctica habitual de la resolución de problemas y comprendamos la necesidad de un replanteamiento en profundidad de la misma.

NECESIDAD DE UN REPLANTEAMIENTO EN PROFUNDIDAD

Las mayores dificultades que a menudo ha encontrado el desarrollo de una ciencia han derivado de supuestos implícitos, aceptados sin cuestionamiento alguno, que escapan así a la crítica. En tales casos se impone –como la historia de las ciencias ha mostrado reiteradamente– un replanteamiento en profundidad que analice críticamente hasta lo más obvio. Por lo que se refiere a la didáctica de la resolución de problemas, ello supone descender hasta la clarificación misma de la idea de problema. Ésta es, pues, la actividad que proponemos ahora a los equipos

Propuesta de trabajo

¿Qué hemos de entender por problema?

Se ha señalado con frecuencia (Krulik y Rudnik, 1980; Prendergast, 1986) que los investigadores en la resolución de problemas de lápiz y papel no suelen plantearse qué es un problema –lo que, a nuestro entender, constituye una de las limitaciones de sus investigaciones–, pero existe un acuerdo general, entre quienes sí han abordado la cuestión, en caracterizar como problemas aquellas situaciones que plantean dificultades para las que no se poseen soluciones hechas.

La definición de Krulik y Rudnik (1980) resume bien este consenso: "Un problema es una situación, cuantitativa o no, que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla". Esta misma idea aparece indirectamente cuando se habla de resolución de problemas. Así, Polya (1980) señala que "resolver un problema consiste en encontrar un camino allí donde previamente no se conocía tal, encontrar una salida para una situación difícil, para vencer un obstáculo, para alcanzar un objetivo deseado que no puede ser inmediatamente alcanzado por medios

adecuados". Algunos autores insisten justamente en el hecho de que la existencia de dificultades no es una característica intrínseca de una situación y que depende también de los conocimientos, experiencia, etc., del resolvente (Garrett, 1987). La clarificación de lo que hemos de entender por problema permite avanzar en la comprensión de los resultados tan negativos alcanzados en la enseñanza habitual. Nos plantearemos para ello la relación entre dichas ideas sobre lo que son los problemas y lo que se hace en clase.

Propuesta de trabajo

¿En qué medida las explicaciones de los problemas realizadas por los profesores o expuestas en los libros de texto están de acuerdo con su naturaleza de tarea desconocida, para la que de entrada no se posee solución?

La discusión propiciada por esta actividad pone totalmente en cuestión la práctica docente habitual; se señala, en efecto, que los "problemas" son explicados como algo que se sabe hacer, como algo cuya solución se conoce y que no genera dudas ni exige tentativas: el profesor conoce la situación –para él no es un problema– y la explica linealmente, "con toda claridad", transmitiendo la sensación real de que se trata de algo perfectamente conocido; consecuentemente, los alumnos pueden aprender dicha solución y repetirla ante situaciones idénticas, pero no aprenden a abordar un verdadero problema y cualquier pequeño cambio les supone dificultades insuperables, provocando el abandono. En definitiva, esta discusión en torno a qué entender por problema permite realizar una crítica más profunda de la didáctica habitual. Puede ahora darse un paso más y plantear:

Propuesta de trabajo

Si un problema es una situación para la que no se tiene respuesta elaborada, ¿cómo habrá que enfocar su resolución?

Si se acepta la idea de que todo problema es una situación ante la cual se está inicialmente perdido, una posible orientación consistiría en preguntarse ¿qué hacen los científicos en este caso? Con ello planteamos muy concretamente qué es lo que hacen los científicos delante de lo que para ellos constituye un verdadero problema y no ante un enunciado de lápiz y papel como los que se incluyen en los libros de texto. Se puede esperar, en efecto, que delante de problemas de lápiz y papel los científicos –que son a menudo profesores– adopten actitudes características de la enseñanza habitual y consideren los problemas como situaciones que se debe saber resolver y no como verdaderos problemas. En este sentido, los estudios hechos sobre la manera en que los "expertos" abordan los problemas de lápiz y papel estarían todavía muy lejos de lo que supone enfrentarse a un verdadero problema. Es pues más útil preguntarse qué es lo que los científicos hacen cuando tienen que habérselas con auténticos problemas para ellos.

La respuesta en este caso es "simplemente" que... se comportan como investigadores. Y si bien es verdad que expresiones como investigación, metodología científica o método

científico (con o sin mayúsculas) no tienen una clara significación unívoca, traducible en etapas precisas, resulta indudable que el tratamiento científico de un problema posee unas características generales, a las que ya nos hemos referido, que habría que tener en cuenta también en los problemas de lápiz y papel; cabe pues preguntarse cuál es la razón de que ello no ocurra.

Propuesta de trabajo

¿Qué es lo que en los enunciados habituales dificulta un tratamiento científico de los problemas y deja, en particular, sin sentido la tarea fundamental de emisión de hipótesis?

El paso a dar ahora no es, ciertamente, fácil; pero el hilo conductor seguido hasta aquí permite concebir que la inclusión de los datos en el enunciado como punto de partida, respondiendo a concepciones inductivistas, orienta la resolución hacia el manejo de unas determinadas magnitudes sin que ello responda a una reflexión cualitativa ni a las subsiguientes hipótesis. De este modo, al resolver un problema, el alumnado se ve abocado a buscar aquellas ecuaciones que pongan en relación los datos e incógnitas proporcionados en el enunciado, cayendo así en un puro operativismo. No basta, pues, denunciar dicho operativismo: se trata de hacerlo imposible atacando sus causas.

La comprensión de que la presencia de los datos en el enunciado, así como la indicación de todas las condiciones existentes –todo ello como punto de partida–,responde a concepciones inductivistas y orienta incorrectamente la resolución, constituye un paso esencial en el desbloqueo de la enseñanza habitual de problemas y sus limitaciones (Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1983). Pero al mismo tiempo genera desconcierto, porque choca con la práctica reiterada, con lo que "siempre" se ha hecho. Un enunciado sin datos, se señala, ¿no será algo excesivamente ambiguo frente a lo cual los alumnos acaben extraviándose? Ahora bien, la ambigüedad, o, dicho con otras palabras, las situaciones abiertas, ¿no son acaso una característica esencial de las situaciones genuinamente problemáticas? ¿Y no es también una de las tareas fundamentales del trabajo científico acotar los problemas abiertos, imponer condiciones simplificatorias? La discusión realizada ha permitido comprender la conveniencia de "traducir" los enunciados cerrados habituales en situaciones problemáticas abiertas capaces de generar una resolución acorde con las características del trabajo científico. Veamos un ejemplo:

Propuesta de trabajo

Transformen el siguiente enunciado en una situación problemática abierta: "Sobre un móvil de 5.000 kg, que se desplaza con una velocidad de 20 m/s, actúa una fuerza de frenado de 10.000 N ¿qué velocidad llevará a los 75 m de donde comenzó a frenar?".

El trabajo realizado en numerosos talleres y cursos de perfeccionamiento del profesorado ha permitido constatar que los enunciados habituales son "traducibles" sin dificultad. Así, por ejemplo, el enunciado anterior es traducido a una situación más abierta y que no señale cuáles son las magnitudes relevantes, como la siguiente:

"Un automóvil comienza a frenar al ver la luz amarilla, ¿qué velocidad llevará al llegar al semáforo?".

Por supuesto, son posibles distintos enunciados, distintas situaciones problemáticas, más o menos abiertas; así, el problema anterior puede dar lugar a otros enunciados que, aunque aparentemente diferentes, plantean una situación muy similar:

"¿Chocará el tren contra la roca caída en la vía?", o "¿podrá aterrizar el avión sin salirse de la pista?"

De hecho, cuando se plantea a varios grupos la traducción de un mismo enunciado tradicional se obtienen distintas propuestas de situaciones problemáticas, en general igualmente válidas. En cualquier caso interesa destacar que estas traducciones no plantean dificultades mayores y que cualquier enunciado habitual es transformable en situación problemática (Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1987). Pero la cuestión fundamental es, sin duda, cómo orientar a los alumnos para abordar dichas situaciones, puesto que no basta, obviamente, con enfrentarles a enunciados sin datos para lograr una actividad exitosa.

Propuesta de trabajo

¿Qué orientaciones convendría proporcionar a los alumnos para facilitar el abordaje de situaciones problemáticas abiertas?

La cuestión de qué orientaciones proporcionar a los alumnos para abordar la resolución de problemas sin datos (en los que ya no es posible el simple juego de datos, fórmulas e incógnitas) conduce ahora a los grupos de profesores participantes en un seminario como el que estamos describiendo, a elaborar propuestas básicamente coincidentes con las que se enuncian a continuación y que, en conjunto, suponen un modelo de resolución de problemas como investigación (Gil-Pérez et al., 1990; Maloney, 1994) que es básicamente coincidente con la orientación general propuesta para salir al paso de las visiones deformadas de la ciencia (ver capítulo 2):

I. Considerar cuál puede ser el interés de la situación problemática abordada.

Si se desea romper con planteamientos excesivamente escolares, alejados de la orientación investigativa que aquí se propone, es absolutamente necesario evitar que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora. Esta discusión previa del interés de la situación problemática, además de proporcionar una concepción preliminar y de favorecer una actitud más positiva hacia la tarea, permite una aproximación funcional a las relaciones CTSA, que continúan siendo, pese a reconocerse su importancia, uno de los aspectos más generalmente olvidados.

II. Comenzar por un estudio cualitativo de la situación, intentando acotar y definir de manera precisa el problema, explicitando las condiciones que se consideran reinantes para poder avanzar en su solución, etc.

Cabe señalar que esto es lo que realizan habitualmente los expertos ante un verdadero problema y lo que en ocasiones se recomienda, sin demasiado éxito. Pero los alumnos, ahora, se ven obligados a realizar dicho análisis cualitativo: no pueden evitarlo lanzándose a operar con datos e incógnitas, porque no disponen de ellos. Han de imaginar necesariamente la situación física, tomar decisiones para acotar dicha situación, explicitar operativamente, en términos científicos, qué es lo que se trata de determinar, etc.

III. Emitir hipótesis fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límite de fácil interpretación física.

Existe un consenso general entre los epistemólogos acerca del papel central de la hipótesis en el tratamiento de verdaderos problemas (Chalmers, 1990). En cierta medida, se puede decir que el sentido de la orientación científica –dejando de lado toda idea de "método"– se encuentra en el cambio de un razonamiento basado en "evidencias", en seguridades, a un razonamiento en términos de hipótesis, a la vez más creativo (es necesario ir más allá de lo que parece evidente e imaginar nuevas posibilidades) y más riguroso (es necesario fundamentar y después someter a prueba cuidadosamente las hipótesis, dudar del resultado, buscar la coherencia global). Así, son las hipótesis las que focalizan y orientan la resolución, las que indican los parámetros a tener en cuenta (los datos a buscar). Y son las hipótesis –y la totalidad del corpus de conocimientos en que se basan– las que permitirán analizar los resultados y todo el proceso. En definitiva, sin hipótesis una investigación no puede ser sino ensayo y error, deja de ser una investigación científica.

Podría pensarse que es inútil insistir aquí en estas ideas tan conocidas, pero, desgraciadamente, es preciso reconocer que si el papel de las hipótesis apenas se toma en consideración en las prácticas de laboratorio, en lo que se refiere a los problemas de lápiz y papel la cuestión ni siquiera se plantea. Sin embargo, los problemas sin datos en el enunciado, como los que proponemos, obligan a los alumnos a hipotetizar, a imaginar cuáles deben ser los parámetros pertinentes y la forma en que intervienen. Así, por ejemplo, en un problema como *"un automóvil comienza a frenar al ver la luz amarilla ¿con qué velocidad llegará al paso de peatones?"*, no se trata sólo de señalar la influencia de la fuerza de frenado, masa del automóvil, distancia a la que se encontraba inicialmente del paso de peatones y velocidad que llevaba, sino de predecir la forma de estas relaciones y, repetimos, considerar posibles casos límite. Los alumnos siguen así profundizando en la situación física, llegando a plantearse, por ejemplo, que "si la fuerza de frenado fuese nula, la velocidad que llevaría seguiría siendo la inicial", etc.

Es cierto también que en ocasiones, incluso muy a menudo, los alumnos introducen ideas "erróneas" cuando formulan hipótesis. Por ejemplo, cuando se pide cuál será la altura máxima a la que llegará una piedra lanzada hacia arriba, muchos alumnos piensan en la masa del objeto como una variable pertinente. Pero esto, lejos de ser negativo, constituye quizás la mejor manera de sacar a la luz y tratar dichas ideas (que serán falsadas por los resultados obtenidos): cada vez que los alumnos abordan una situación problemática en la que interviene una caída de graves, sus ideas acerca de la influencia de la masa pueden reaparecer como hipótesis y ser tratadas. Por el contrario, la resolución de decenas de ejercicios habituales sobre este mismo tema no impide que un importante

porcentaje de alumnos de educación secundaria e incluso de estudiantes universitarios continúe considerando como "evidente" que un cuerpo de masa doble que otro caerá en la mitad del tiempo empleado por el primero.

IV. Elaborar y explicitar posibles estrategias de resolución antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscar distintas vías de resolución para posibilitar la contrastación de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.

Si el corpus de conocimientos de que dispone el alumno juega, como hemos visto, un papel esencial en los procesos de resolución, desde la representación inicial del problema y la manera de modelizar la situación, hasta en las hipótesis que se avanzan, es sin duda en la búsqueda de caminos de resolución donde su papel resulta más evidente. En efecto, los problemas de lápiz y papel son situaciones que se abordan disponiendo ya de un corpus de conocimientos suficientemente elaborado para permitir la resolución: su estatus en los libros de texto es el de problemas "de aplicación". Son, en efecto, situaciones que se pueden resolver con los conocimientos ya construidos y reiteradamente probados, sin que haya necesidad, pues, de nuevas verificaciones experimentales. Es por tanto lógico y correcto que en la literatura sobre resolución de problemas de lápiz y papel se dé mucha importancia a un buen conocimiento teórico. Ya no resulta tan correcto que se interprete el fracaso en la resolución como evidencia de la falta de esos conocimientos teóricos: se olvida así que las estrategias de resolución no derivan automáticamente de los principios teóricos, sino que son también construcciones tentativas, que parten del planteamiento cualitativo realizado, de las hipótesis formuladas y de los conocimientos que se poseen en el dominio particular, pero que exigen imaginación y ensayos. Las estrategias de resolución son, en cierta medida, el equivalente a los diseños experimentales en las investigaciones que incluyen una contrastación experimental, y hay que encararlas como una tarea abierta, tentativa. Es por ello que resulta conveniente buscar varios caminos de resolución, lo que además de facilitar la contrastación de los resultados, puede contribuir a mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos.

V. Realizar la resolución verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más, operativismos carentes de significación física.

La petición de una planificación previa de las estrategias de resolución está dirigida a evitar una actividad próxima al simple "ensayo y error", pero no pretende imponer un proceso rígido: los alumnos (y los científicos) conciben en ocasiones las estrategias de resolución a medida que avanzan, no estando exentos de tener que volver atrás a buscar otro camino. En todo caso, es necesario que la resolución esté fundamentada y claramente explicada –previamente o a medida que se avanza–, lo que exige verbalización y se aleja de los tratamientos puramente operativos, sin ninguna explicación, que se encuentran tan a menudo en los libros de texto. Ello exige también una resolución literal hasta el final, lo que permite que el tratamiento se mantenga próximo a los principios manejados y facilitará, además, el análisis de los resultados. Como indican Jansweijer, Elshout y Weilinger (1987), "cuando la tarea es un verdadero problema, las dificultades y las revisiones son inevitables", y ello se ve facilitado, sin duda, por una resolución literal en la que los factores considerados como pertinentes aparecen explícitamente y se pueden reconocer los principios aplicados, lo que no ocurre, obviamente, en el caso de una resolución numérica. Además, dejar las operaciones numéricas para el final evita una sobrecarga de la memoria de trabajo a corto plazo de los resolventes, que pueden dedicar así una mayor atención a aspectos estratégicos, favoreciendo el éxito en la resolución.

VI. Analizar cuidadosamente los resultados a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límite considerados.

El análisis de los resultados constituye un aspecto esencial en el abordeje de un verdadero problema y supone, sobre todo, su contrastación con relación a las hipótesis emitidas y al corpus de conocimientos. Desde este punto de vista adquieren pleno sentido propuestas como la que Reif (1983) denomina "verificación de la consistencia interna":

- "¿Es razonable el valor de la respuesta?".
- "¿Depende la respuesta, de una forma cualitativa, de los parámetros del problema en el sentido que cabría esperar?".
- "¿Se ajusta la respuesta a lo que se podría esperar en situaciones sencillas y especiales (por ejemplo, las correspondientes a valores extremos de las variables)?".
- "¿Se obtiene la misma respuesta por otro medio diferente de resolución?".

Es importante constatar hasta qué punto el proceso de análisis de los resultados preconizado por Reif en el texto precedente se ajusta a una verificación de hipótesis avanzadas al principio de la resolución para orientarla y dirigir la búsqueda de los datos necesarios –las variables pertinentes–, en lugar de pedir que "se reconozcan" en el enunciado como punto de partida. Cabe preguntarse, una vez más, por qué ese paso lógico y aparentemente tan sencillo no ha sido dado ni por Reif ni por otros autores. En nuestra opinión, la razón de ello estribaría en el hecho de aceptar, sin cuestionarlo, el tipo habitual de enunciado y la orientación didáctica asociada al mismo, consistente en "desproblematizar" los problemas.

Añadamos que, al igual que ocurre en una verdadera investigación, **los resultados pueden ser origen de nuevos problemas**. Sería conveniente que los alumnos (y los profesores) llegasen a considerar este aspecto como una de las derivaciones más interesantes de la resolución de problemas, poniendo en juego de nuevo su creatividad. Se trataría, pues, de incluir una séptima actividad en el tratamiento de los problemas:

VII. Considerar las perspectivas abiertas por la investigación realizada contemplando, por ejemplo, el interés de abordar la situación a un nivel de mayor complejidad o considerando sus implicaciones teóricas (profundización en la comprensión de algún concepto) o prácticas (posibilidad de aplicaciones técnicas). Concebir, muy en particular, nuevas situaciones a investigar, sugeridas por el estudio realizado.

Es conveniente solicitar, por último, la **elaboración de una memoria** del tratamiento del problema, es decir, de la investigación realizada, que contribuya a dar a la comunicación y al aspecto acumulativo toda la importancia que poseen en el proceso de construcción de conocimientos. Ello ha de ser ocasión para una **recapitulación de los aspectos más destacados del tratamiento del problema, tanto desde el punto de vista metodológico como desde el conceptual o axiológico**. Dicha memoria se convierte así en un **producto** de interés para la comunidad, superando la idea de ejercicio escolar (destinado exclusivamente al profesor), lo que suele jugar un indudable papel motivador. Podemos así incluir esta última propuesta:

VIII. Realizar una recapitulación que explique el proceso de resolución y que destaque los aspectos de mayor interés en el tratamiento de la situación considerada. Incluir, en particular, una reflexión global sobre lo que el trabajo realizado puede haber aportado, desde el punto de vista conceptual, metodológico y actitudinal, para incrementar la competencia de los resolventes.

Es conveniente remarcar que las orientaciones precedentes (que pueden entregarse a los asistentes, a modo de recapitulación) **no** constituyen un algoritmo que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos. Muy al contrario, se trata de indicaciones genéricas destinadas a llamar la atención contra ciertos "vicios metodológicos": la tendencia a caer en operativismos ciegos o a pensar en términos de certeza, lo que se traduce en no pensar en posibles caminos alternativos de resolución o en no poner en duda y analizar los resultados, etc. Nos remitimos para mayor información a otros trabajos que incluyen la "traducción" y resolución de numerosos problemas de física y química, así como los resultados obtenidos con alumnos de educación secundaria (Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1987). Conviene ahora proceder a practicar esta orientación para constatar todas sus potencialidades.

UN EJEMPLO DE TRATAMIENTO DE SITUACIONES PROBLEMÁTICAS ABIERTAS

Presentamos aquí un ejemplo concreto de tratamiento de situación problemática abierta con una orientación investigativa. Hemos elegido una situación especialmente elemental para mostrar cómo al orientar su resolución como una investigación, la actividad se enriquece notablemente, convirtiéndose en ocasión de practicar aspectos clave del trabajo científico, favoreciendo además una notable mejora en los resultados.

Cuando hemos de atravesar una vía de circulación rápida por un lugar donde no existe paso de peatones, solemos analizar brevemente la situación y optar entre pasar corriendo o esperar. Esta elección se apoya en la recogida y tratamiento de informaciones pertinentes que, aunque tengan un carácter inconsciente, no dejan de basarse en las leyes de la física. Proponemos, pues, abordar dicha situación y responder a esta cuestión: "Vamos a atravesar una calle de circulación rápida y vemos llegar un coche: ¿Pasamos o esperamos?".

Propuesta de trabajo

Vamos a atravesar una calle de circulación rápida y vemos venir un automóvil:

¿pasamos o esperamos?

Como puede verse se trata de una situación en la que cualquier alumno, cualquier ciudadano, puede encontrarse con relativa frecuencia y en la que necesariamente se procede a realizar estimaciones cualitativas que determinan la elección final (pasar o esperarse). Explicitar dichas estimaciones y proceder a un tratamiento más riguroso de la situación puede tener interés desde distintos puntos de vista:

- Ayudar a comprender el papel de las estimaciones cualitativas, a las que los científicos recurren con frecuencia, previamente a realizar cálculos más precisos. Se puede romper así con la visión tópica que asocia trabajo científico con cálculos minuciosos que, a menudo, pierden toda significación.
- Hacer ver que las disposiciones legales sobre límites de velocidad, las decisiones urbanísticas sobre localización de semáforos, isletas en el centro de una calzada, etc.

se basan –o deberían basarse–, entre otros, en un estudio físico cuidadoso de las situaciones, es decir, en la resolución de problemas como el que aquí se propone.

- Podemos referirnos, por último, al interés que puede tener el tratamiento de esta situación para incidir en aspectos de educación vial y, más en general, en la toma de decisiones en torno a problemas de relación ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA).

Vale la pena, pensamos –en este y en cualquier problema–, pedir a los alumnos que se planteen **cuál puede ser el interés de la situación problemática propuesta** e insistir, en la reformulación, en algunas de las ideas aquí expuestas. Ello puede contribuir a favorecer una actitud más positiva hacia la tarea, evitando que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora. De hecho, cuando se propone este problema a estudiantes de secundaria o a profesores en formación, los grupos de trabajo introducen ideas semejantes a las aquí expuestas.

En general, si se desea romper con planteamientos excesivamente escolares, alejados de la orientación investigativa que aquí se propone, es absolutamente necesario que cada tarea planteada sea presentada cuidadosamente, prestando atención a crear un interés previo que evite un activismo ciego.

Veamos ahora, tras estas reflexiones introductorias, el desarrollo previsible del trabajo de los alumnos en este problema, cuando les pedimos que procedan al **análisis cualitativo de la situación y al planteamiento preciso del problema.**

Señalemos, en primer lugar, que solicitar "el análisis cualitativo de la situación y planteamiento del problema" constituye una petición bastante global, lo que nos parece preferible a ir orientando el trabajo de los alumnos con preguntas más concretas que parcialicen el abordaje de la situación. Ello no quiere decir que el profesor no pueda introducir, si es necesario, nuevas cuestiones durante las puestas en común, pero lo esencial es que los grupos de trabajo se planteen una actividad suficientemente global para que tenga sentido y no constituya un simple ejercicio escolar conducido paso a paso por el profesor. El papel de éste ha de ser el de favorecer una actividad lo más autónoma y significativa posible, sin descomponer innecesariamente la tarea mediante preguntas muy concretas que pueden incluso esconder el hilo conductor.

Volviendo al problema que nos ocupa, señalaremos en primer lugar que analizar una situación problemática abierta hasta formular un problema concreto exige un esfuerzo de precisión, de toma de decisiones modelizantes, etc., que, incluso en un problema tan sencillo como éste, encierra dificultades para los alumnos. Entendemos, sin embargo, que son dificultades debidas, en gran parte, a la falta de hábito en detenerse suficientemente en las situaciones, en hacer explícito lo que "se da por sentado", etc. La intervención del profesor no necesita, pues, en general, ir más allá de pedir precisiones e impulsar a una mayor profundización. Los alumnos pueden llegar así, tras la puesta en común del trabajo de los pequeños grupos, a concebir la situación planteada en la forma que transcribimos, sintéticamente, a continuación:

"Consideraremos que el automóvil A sigue una trayectoria rectilínea y que el peatón P atraviesa también en línea recta, perpendicularmente (Fig. 1). Tomamos las velocidades del automóvil, v_A, y del peatón, v_p, como constantes: no sólo porque es la situación más sencilla, sino porque el peatón ha de atravesar sin obligar a frenar al automóvil".

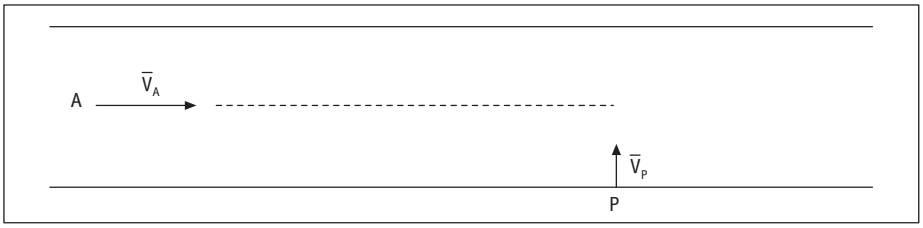


Figura 1

La discusión acerca de la constancia de las velocidades es del mayor interés y no siempre se produce espontáneamente. No se trata sólo de una simplificación como las que suelen hacerse para facilitar la resolución de un problema, sino que constituye una cuestión esencial de educación vial: el conductor también evalúa la situación y ha de poder seguir su movimiento sin frenar ni desviarse bruscamente (con los peligros que ambas cosas comportan). Por supuesto, la discusión puede ir más lejos y contemplar la cuestión de las velocidades máximas a las que circulan los automóviles y de la distancia mínima entre ellos. En efecto, si el peatón ha alcanzado un automatismo, basado en la distancia a la que percibe los automóviles y en la velocidad máxima a la que éstos circulan habitualmente, ¿qué ocurrirá cuando un conductor circule a mayor rapidez... o acelere una vez el peatón ha comenzado ya a atravesar? ¿Qué puede ocurrir, por otra parte, si el automóvil frena y hay otro automóvil detrás que no ha respetado la distancia mínima que corresponde a su velocidad? Se trata, pues, de proceder a opciones que van más allá de la simple modelización simplificadora y que pueden dar lugar a debates muy vivos ("*¡La ciudad ha de ser, ante todo, para los peatones!*, *¡Habría que poner fuertes multas a los peatones irresponsables!"*, etc.). Los alumnos, por último, añaden la siguiente precisión para acotar el problema:

"Cabe pensar que el peatón atravesará si puede llegar a la otra orilla antes que el automóvil llegue a su altura, es decir, P ha de llegar a P_2 antes de que A llegue a A_2" (Fig. 2).

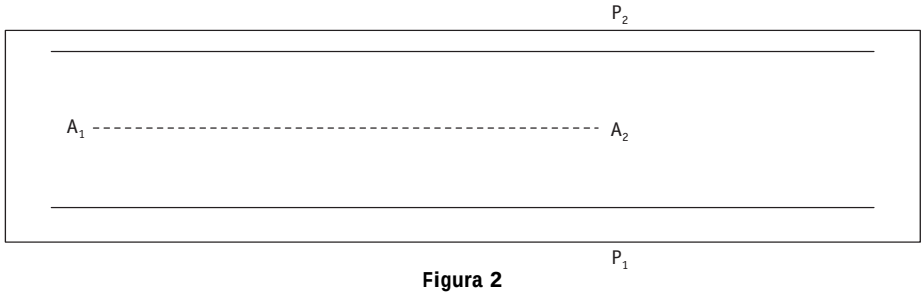


Figura 2

También esta clarificación de las condiciones en las que el peatón decidirá pasar genera discusión: algunos señalan, razonablemente, que sería preciso ampliar el margen de seguridad ("¡No se trata de torear al coche!"). En cualquier caso, la reformulación del profesor permite alcanzar un consenso en torno a la necesidad de que ni el peatón ni el conductor se vean obligados a acelerar o desviarse, como expresión de que la acción del peatón no genere peligro. Ello puede concretarse en que el peatón ha de llegar a la otra acera *antes* que el automóvil llegue a su altura (el tiempo empleado por el peatón en realizar su movimiento ha de ser menor que el del automóvil). Se puede, pues, resolver el problema en términos de *desigualdad*, dejando así un amplio margen a las condiciones de seguridad que cada peatón puede considerar necesarias.

Una dificultad particular es la que presenta la traducción del enunciado ("¿Pasará o no el peatón?") a una forma que implique alguna magnitud concreta. No basta, en efecto, con acotar y modelizar la situación para tener un problema: se ha de saber lo que se busca. Una posible pregunta que cabe esperar que los alumnos se formulen a este respecto es la siguiente:

"¿Con qué velocidad debe pasar el peatón (para atravesar la calle antes de que el automóvil llegue a su altura)?"

Se trata de una cuestión que dirige la resolución hacia el cálculo de la velocidad que ha de llevar el peatón:

"Si dicha velocidad está dentro de márgenes razonables (para el peatón en cuestión) pasará; en caso contrario, se parará".

Son posibles, sin embargo, otros enfoques y conviene solicitar un esfuerzo para concebir otras preguntas. Surgen así, por ejemplo, las siguientes:

"¿Qué velocidad máxima puede llevar el automóvil (para que el peatón pueda atravesar la calle antes de que llegue a su altura)?". "¿A qué distancia mínima ha de encontrarse el automóvil?", "¿De cuánto tiempo dispone el peatón para pasar?", etc.

Todas estas preguntas son formas de plantear *el mismo problema* y resultará conveniente resaltarlo al analizar los resultados.

Se ha llegado de este modo a formular un problema concreto a partir de la situación problemática inicial. Conviene, por supuesto, proceder a sintetizar el trabajo realizado, es decir, solicitar dicha síntesis de los propios alumnos. No la transcribimos aquí para evitar repeticiones y pasamos, pues, a la **formulación de hipótesis** susceptibles de focalizar el problema y de orientar su resolución.

Si el problema ha quedado formulado como "¿con qué velocidad ha de atravesar el peatón (para atravesar la calle antes de que el automóvil llegue a su altura)?", las hipótesis formuladas por los distintos grupos indican que *"la velocidad mínima que ha de llevar el peatón, v_P, dependerá de (ver Fig. 3):*

- *la velocidad del automóvil, v_A (cuanto mayor sea ésta, más aprisa habrá de atravesar el peatón; obviamente, para $v_A = 0$ la velocidad del peatón puede hacerse tan pequeña como se quiera)*
- *la distancia inicial a que se encuentra el automóvil, d_A (cuanto mayor sea ésta, menor puede ser la velocidad del peatón;)*
- *la anchura de la vía o distancia que ha de recorrer el peatón, d_P (cuanto mayor sea ésta más aprisa habrá de pasar el peatón; de hecho, una anchura muy grande hace impensable atravesar, a menos que la visibilidad sea excelente y permita ver el automóvil desde distancias también muy grandes)".*

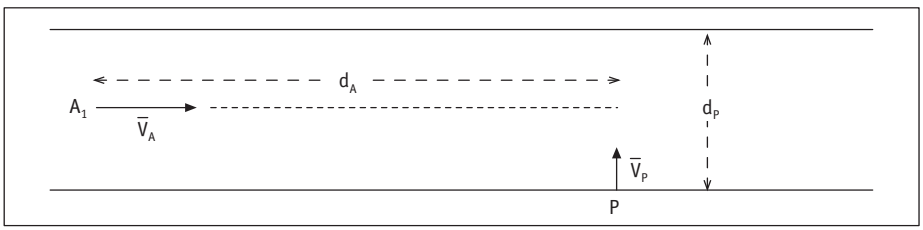


Figura 3

Todo lo anterior puede esquematizarse en una expresión como:

$$V_P = f\,(V_A\,,\ d_A,\ d)_P$$

Dicha expresión indica los factores de que depende la velocidad mínima a la que puede atravesar el peatón e indica cualitativamente el sentido de su influencia, pero conviene evitar que estas formulaciones esquemáticas –que resultan poco significativas– substituyan a la explicación detenida del sentido de las variaciones. Por ello insistimos, una vez más, en que no conviene descomponer esta tarea, como se hace cuando se pide, por ejemplo, "¿de qué dependerá v_P?" para, a continuación, solicitar el sentido de las variaciones. Esto favorece las presentaciones esquemáticas, la inclusión de factores que no juegan ningún papel, etc. Es preciso, pues, cuando los estudiantes señalan algún posible factor, preguntarles por qué lo incluyen y no contentarse tampoco con formulaciones abstractas del tipo *"si v_A aumenta, v_P aumentará"*, sino pedir ¿qué significa eso? hasta conseguir que el enunciado sea más significativo: p.e., *"cuanto mayor sea la velocidad v_A a que circula el automóvil, más aprisa tendrá que pasar el peatón, es decir, mayor habrá de ser la velocidad mínima v_P que puede llevar el peatón"*. Del mismo, modo hay que evitar la utilización mecánica de algunos casos límite como *"si v_A tiende a cero, v_P tenderá a cero también"*, que ha de dejar paso a expresiones más significativas del tipo *"si la velocidad del automóvil se hace muy pequeña (tiende a cero), la velocidad que ha de llevar el peatón puede disminuir también, es decir, la velocidad mínima v_P que ha de llevar el peatón tiende a cero... lo que no quiere decir, por supuesto, que vaya a atravesar la calle con velocidad nula"*.

Podemos pasar ahora al **diseño de posibles estrategias de resolución**. Las mayores dificultades con que los alumnos tropiezan para encontrar estrategias adecuadas tienen lugar cuando no asocian esta búsqueda con lo que ya han realizado, es decir, con las hipótesis enunciadas y con el mismo análisis cualitativo de la situación. Conviene, pues, insistir explícitamente en ello, hasta que se convierta en algo "connatural" para los alumnos, pidiendo que conciban alguna(s) estrategia(s) de resolución, teniendo en cuenta la forma en que ha sido formulado el problema y las hipótesis enunciadas. Ello permite a los alumnos elaboraciones como la siguiente:

"Se trata de tener en cuenta que el tiempo tardado por el peatón en atravesar la calle (con movimiento uniforme), t_P, ha de ser menor que el t_A empleado por el automóvil en llegar a su altura (también con movimiento uniforme); es decir, se ha de cumplir que $t_P < t_A$. Basta, pues, poner dichos tiempos en función de las distancias y velocidades (constantes) respectivas, puesto que son ésas las magnitudes que figuran en las hipótesis".

Vemos así cómo las hipótesis y el análisis cualitativo en que se basan juegan un papel orientador sin el cual la búsqueda de estrategias de resolución se convierte en algo prácticamente aleatorio, guiado simplemente por la necesidad de encontrar las ecuaciones que pongan en relación las incógnitas con las otras variables.

¿Qué otras estrategias pueden imaginarse? Es lógico que se piense en estrategias cinemáticas como la que acabamos de transcribir, pero ello no excluye una cierta diversidad de aproximaciones, formulando el problema de manera distinta (planteando, p.e., el cálculo de la velocidad máxima que puede llevar un automóvil para que el peatón se atreva a pasar) o utilizando un tratamiento gráfico, etc.

Como es lógico, los alumnos no tienen dificultad en obtener:

$$d_P/v_P < d_A/v_A \quad \text{y de aquí} \quad v_P > v_A.\ d_p/d_A$$

(si lo que se persigue es determinar la velocidad mínima que ha de llevar el peatón), o bien:

$$v_A < v_P.d_A/d_P$$

(si lo que se busca es la velocidad máxima que puede llevar el coche), o bien:

$$d_P < d_A.v_P/v_A$$

(si se calcula la anchura máxima que puede tener la calle, etc.).

Quizás las mayores dificultades las plantee la lectura significativa de este resultado –más allá de la pura expresión matemática–, evidenciándose así, una vez más, la escasa práctica en el trabajo de interpretación física. En este problema, sin embargo, dicha interpretación es sencilla y los alumnos pueden constatar, sin mayores dificultades, que *"el resultado da cuenta de las hipótesis concebidas (tanto en el sentido general de las variaciones como en los casos límite concebidos). Podemos así ver que cuanto mayor sea la distancia a la que se divisa el automóvil, más despacio podrá ir el peatón, mientras que cuanto más ancha sea la calle (o a más velocidad vaya el automóvil,) más aprisa tendrá que ir el peatón"*.

Vale la pena, sin embargo, insistir en la búsqueda de otros argumentos que permitan aceptar o rechazar dicho resultado, contrariando la tendencia a darse fácilmente por satisfechos sin mayores cuestionamientos (actitud característica del pensamiento ordinario, con el que es preciso romper). Los alumnos pueden añadir así algunas consideraciones pertinentes, como *"el resultado es dimensionalmente correcto; las distancias recorridas por cada móvil son proporcionales a sus respectivas velocidades (como corresponde a movimientos uniformes), etc."*.

Mayor interés puede tener solicitar una estimación numérica correspondiente a una situación real (una vía próxima al Centro escolar) para proceder a continuación a su contrastación o a simulaciones con ordenador.

La discusión de las estimaciones permite salir al paso de algunas suposiciones inverosímiles: considerar, p.e., que el automóvil lleva una velocidad de 60 m/s, o suponer que se encuentra tan cerca del peatón que éste se ve obligado a batir récords de velocidad. Se favorece así el entrenamiento en la estimación y evaluación cualitativa de cantidades, a las que los científicos recurren muy frecuentemente.

La contrastación experimental –semicuantitativa– es en este caso muy simple y los grupos de alumnos obtienen valores similares y plausibles para la velocidad mínima que ha de llevar el peatón.

Puede ser interesante solicitar de los alumnos que conciban otros problemas relacionados con los que acaban de resolver, incidiendo así en un aspecto clave de la investigación científica. Algunas propuestas de los alumnos resultan, sin duda, de interés; por ejemplo:

"Se puede pensar en la determinación de la velocidad mínima a que se debe atravesar una calle con semáforo".

Ésta es una situación aún más ordinaria (¡y segura!) que la abordada aquí y, por ello mismo. de mayor interés práctico. La cuestión de la decisión –pasar o esperar– se mantiene y, de hecho, observamos con frecuencia peatones que atraviesan corriendo cuando la luz naranja ya se ha encendido, mientras que otros esperan hasta que el semáforo vuelve a ponerse verde. Otra situación muy similar al problema resuelto (tiene exactamente el mismo resultado), pero raramente planteada, es la siguiente: *"¿Se alcanzará a los fugitivos antes de que lleguen a la frontera?"*.

Sí suele plantearse la situación opuesta en la que es el conductor el que ha de tomar la decisión: *"Un automovilista percibe a un peatón atravesando un paso de cebra ¿Conseguirá parar antes de atropellarlo?"*. Se plantean también situaciones como "*¿chocarán dos automóviles que confluyen en un cruce de escasa visibilidad?*", o bien, "*¿arrollará el tren al automóvil que cruza el paso a nivel?*", etc.

Imaginar estas situaciones -imaginar, en definitiva, nuevos problemas- constituye, repetimos, una actividad del mayor interés y conviene que la cuestión sea planteada, allí donde sea posible.

Conviene, por último, solicitar de los alumnos una **recapitulación de los aspectos más destacados del tratamiento de este problema**, tanto desde el punto de vista metodológico como desde cualquier otro. Por nuestra, parte destacaríamos los siguientes:

- Nos hemos referido, en primer lugar, a la conveniencia de plantear una reflexión previa acerca del interés de la situación problemática planteada (que en este caso concreto tiene claras implicaciones en aspectos de educación vial) como forma de favorecer una actitud más positiva de los alumnos y de romper con actitudes puramente escolares de "seguimiento de consignas".
- El tipo de enunciado propuesto (¿atravesamos la calle o esperamos?) ha permitido enfrentar a los alumnos con la tarea –pocas veces planteada– de precisar cuál es la magnitud a determinar, ampliando así la toma de decisiones que el paso de una situación problemática a un problema concreto conlleva. La modelización de la situación problemática ha permitido, más allá de las típicas simplificaciones, plantear opciones de interés acerca de la regulación del tráfico, etc.
- Otra singularidad de interés es la que representa una resolución en términos de desigualdad (*"la velocidad del peatón ha de ser mayor que..."*), a lo que los alumnos, en general, están poco acostumbrados.
- Hemos insistido en la formulación significativa de las hipótesis (superando la mera enumeración de factores, etc.) y en la necesidad de un cuestionamiento del resultado tan profundo como sea posible (sin conformarse con las primeras verificaciones).
- Se ha visto también la posibilidad de introducir estimaciones cualitativas y su puesta en práctica, que permiten ir más allá de la simple resolución de lápiz y papel y a las que conviene recurrir siempre que sea posible.
- Por último hemos visto la posibilidad de enfrentar a los alumnos con la tarea de concebir nuevos problemas.

ALGUNAS CONCLUSIONES

Digamos, para terminar, que hemos ensayado reiteradamente este esquema de cuestionamiento de las preconcepciones docentes y de la enseñanza habitual, en este campo de la resolución de problemas, con buenos resultados. Se obtiene así *–a través de un proceso de investigación dirigida* como el que hemos descrito– la (re)construcción por los profesores de propuestas más acordes con el cuerpo de conocimientos hoy disponible en didáctica de las ciencias. Por otra parte, el ensayo sistemático de la nueva propuesta con estudiantes de bachillerato y primer curso de universidad ha proporcionado también resultados muy positivos (Martínez Torregrosa, 1987 Dumas Carré, Gil-Pérez y Goffard, 1990; Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1987; Ramírez, Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1994).

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir de los siguientes trabajos:

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori. (Capítulo 2 "La resolución de problemas: causas del fracaso generalizado de los alumnos y propuestas alternativas").

GIL-PÉREZ, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., RAMÍREZ, L., DUMAS CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A. M. (1992). La didáctica de la resolución de problemas en cuestión: elaboración de un modelo alternativo. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 6, 73-85.

GIL-PÉREZ, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., RAMÍREZ, L., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A. M. (1993). Vamos a atravesar una calle de circulación rápida y vemos venir un coche: ¿pasamos o esperamos?, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y sociales*, 7, 71-80.

Referencias bibliográficas en este capítulo

BULLEJOS, J. (1983). Análisis de actividades en textos de Física y Química de 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 147-157.

CHALMERS, A. F. (1990). *Science and its fabrication*. Minneapolis, MP: University of Minnesota Press.

DUMAS CARRÉ, A., GIL-PÉREZ, D. y GOFFARD, M. (1990). Les élèves peuvent-ils résoudre des problèmes? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 728, 1289-1299.

GARRETT, R. M. (1987). Issues in Science Education: problem-solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9(2), 125-137.

GARRETT, R. M., SATTERLY, D., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1990). Turning exercises into problems. An experimental study with teachers in training, *International Journal of Science Education*, 12(1), 1-12.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J. FURIÓ, C., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. ICE/ Universidad de Barcelona. Barcelona: Horsori.

GIL-PÉREZ, D., DUMAS CARRÉ, A., CAILLOT, M. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1990). Paper and pencil problem solving in the physical sciences as an activity of research. *Studies in Science Education*, 18, 137-151.

GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.

GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1984). Problem-Solving in Physics: a critical analysis. En *Research on Physics Education*. Paris: Editions du CNRS.

GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física*. Madrid: Ediciones del MEC.

JANSWEIJER, W., ELSHOUT, J. y WEILINGER. B. (1987). *Modelling the genuine beginner: on the multiplicity of learning to solve problems*. Early Conference. Tubingen.

KRULIK, S. y RUDNICK, K. (1980). Problem solving in school mathematics. National council of teachers of mathematics. *Year Book*. Virginia: Reston.

MALONEY, D. P. (1994). Research on problem solving: Physics. En Gabel D. L. (Ed.), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* . New York: MacMillan Pub Co.

PIAGET, J. (1970). *La epistemología genética*. Barcelona: Redondo.

POLYA, G. (1980). On solving mathematical problems in high school. En Krulik, S. y Reys, R. E. (Eds.), *Problem solving in school mathematics*. Virginia: Reston.

PRENDERGAST, W. F. (1986). Terminology of problem solving. *Problem solving News Letter*, 8(2), 1-7.

RAMÍREZ, L., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1994). *La resolución de problemas de Física y de Química como investigación*. Madrid: MEC.

REIF, F. (1983). Teaching problem-solving. A scientific approach. *The Physics Teacher*, may, 477-478.

SELVARATNAM, M. (1974). Use of Problems in Chemistry Courses. *Education in Chemistry*, November, 201-205.

SIFREDO BARRIOS, C. (2000). La resolución de problemas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física. Campo C. A., Valencia, V. H. (compiladores), *Ciencia y tecnología en los currículos de los países del Convenio Andrés Bello*. Bogotá: Tercer Mundo Editores.

Capítulo 6

¿Cómo hacer posible el aprendizaje significativo de conceptos y teorías?

Jaime Carrascosa, Daniel Gil Pérez y Pablo Valdés

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Cuáles podrían ser las causas fundamentales que expliquen el origen y persistencia de los errores conceptuales en el aprendizaje de las ciencias?
- ¿A qué puede ser debida la ineficacia de la enseñanza habitual para desplazar las concepciones precientíficas por los conocimientos científicos?
- ¿Cuáles podrían ser las orientaciones generales para favorecer el aprendizaje de las ciencias (tanto de los conceptos como de la resolución de problemas o del trabajo experimental)?

EXPRESIONES CLAVE

Errores conceptuales; esquemas conceptuales alternativos; epistemología del sentido común; modelos constructivistas de aprendizaje; aprendizaje como investigación orientada.

INTRODUCCIÓN

En los capítulos 4 y 5 hemos abordado dos actividades básicas en el aprendizaje de las ciencias, el trabajo experimental y la resolución de problemas de lápiz y papel, estudiando las limitaciones de su tratamiento en la enseñanza habitual y las propuestas alternativas que permiten integrarlas coherentemente en la orientación de aprendizaje como investigación que fundamentamos en el capítulo 2. En el presente capítulo realizaremos un estudio semejante, centrado ahora en la introducción y manejo de los conceptos y sus relaciones, es decir, en el aprendizaje de los conocimientos teóricos.

Comenzaremos señalando que, durante bastante tiempo, la enseñanza de conceptos ha preocupado menos a los investigadores que otras cuestiones, como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio.

Propuesta de trabajo

¿A qué se podría atribuir la menor atención que la investigación didáctica ha prestado en el pasado al aprendizaje de conceptos?

Como es lógico, la investigación educativa se centra, inicialmente, en los aspectos cuyo aprendizaje presenta mayores dificultades. En este sentido, la resolución de problemas, con su alto índice de fracasos, o las prácticas de laboratorio (apenas presentes en la enseñanza secundaria) resultaban mucho más preocupantes que el aprendizaje de conceptos, ya que los alumnos parecían contestar con relativa facilidad a las preguntas "teóricas". Cabía sospechar, sin embargo –y algunos lo hacían–, que la aparente facilidad para responder a tales preguntas fuera el resultado de una simple repetición memorística. ¿Podía hablarse de comprensión real cuando esos alumnos no eran capaces de utilizar sus conocimientos para resolver sencillos problemas?

Cualquier profesor con cierta experiencia docente puede recordar ejemplos de respuestas "extrañas" que revelan la profunda incomprensión de algún concepto clave. Pero, en general, puede decirse que la mayoría de los alumnos contesta con relativa facilidad al tipo de cuestiones teóricas habitualmente empleadas en los exámenes, mientras que, por el contrario, su trabajo en la resolución de problemas es mucho más deficiente. Fue precisamente la introducción de otro tipo de cuestiones lo que permitió sacar a la luz una grave y general incomprensión de, incluso, los conceptos más fundamentales y reiteradamente enseñados (Viennot, 1979). La respuesta a una sencilla pregunta cualitativa, del tipo "una piedra cae desde cierta altura en un segundo, ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?" mostraba que un porcentaje muy alto de alumnos, al final de su educación secundaria (e incluso de estudiantes universitarios), consideraba que una masa doble se traducía en mitad de tiempo de caída. Y ello después de haber resuelto decenas de ejercicios numéricos sobre caída de graves e incluso después de haber hecho un estudio experimental del tema.

La publicación de algunos estudios rigurosos, como la tesis de Laurence Viennot (1976), atrajo la atención sobre el problema del aprendizaje conceptual, que cuestionaba la efectividad de la enseñanza allí donde los resultados parecían más positivos; los alumnos no sólo terminaban sus estudios sin saber resolver problemas y sin una imagen adecuada del trabajo científico, sino que la inmensa mayoría de ellos ni siquiera había logrado comprender el

significado de los conceptos científicos más básicos, a pesar de una enseñanza reiterada. Particularmente relevante era el hecho de que los errores que cometían no constituían simples olvidos o equivocaciones momentáneas, sino que se expresaban como ideas seguras y persistentes, afectando de forma similar a alumnos de distintos países y niveles e incluso a un porcentaje significativo de profesores.

No es de extrañar, pues, que el estudio de los que se denominaron *errores conceptuales* se convirtiera rápidamente, a partir de los años ochenta, en una potente línea de investigación y que el profesorado concediera a dichos estudios una atención muy particular, como si conectara con algo que en cierto modo se hubiera ya intuido más o menos confusamente a través de la práctica docente.

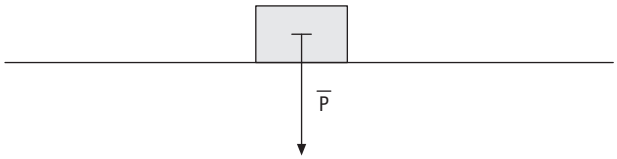
LOS ERRORES CONCEPTUALES COMO SÍNTOMA

Puede ser interesante, para mejor comprender la problemática que plantean los errores conceptuales, analizar algún ejemplo de cuestiones en las que se suelen cometer dichos errores.

Propuesta de trabajo

Consideren las cuestiones que se proponen dando respuesta a las mismas.

a) La figura adjunta representa un bloque que se encuentra en reposo sobre una mesa horizontal y la fuerza de la gravedad que actúa sobre el mismo.



Dibujen la fuerza de reacción correspondiente a dicha fuerza gravitatoria.

b) Expliquen por qué un astronauta "flota" dentro de una nave en órbita alrededor de la Tierra.

En la primera de las cuestiones es bastante habitual encontrar como respuesta una fuerza aplicada al mismo bloque, de la misma magnitud y dirección que el peso y de sentido contrario.

Naturalmente, la respuesta es incoherente con el tercer principio de la dinámica, ya que, en primer lugar, la fuerza de la gravedad se debe a la interacción entre la Tierra y el bloque, por lo que la fuerza de reacción deberá estar aplicada *en la Tierra* y no en el propio bloque. La fuerza que se suele dibujar es la que la mesa ejerce sobre el bloque (cuya reacción es la fuerza que el bloque ejerce sobre la superficie de la mesa). Esta interacción entre el bloque y la mesa no es, por supuesto, de naturaleza gravitatoria, sino electromagnética. Con otras palabras, la fuerza que ejerce el bloque sobre la superficie de la mesa *nunca es* la de la gravedad (aunque su valor, en determinados casos como éste, coincida con el del peso).

En cuanto a la segunda de las cuestiones planteadas, se suelen cometer diversos errores conceptuales, tales como afirmar que el astronauta flota *porque la gravedad es muy pequeña o nula*, o bien señalar que la fuerza de atracción gravitatoria se anula con la fuerza centrífuga que actúa sobre el astronauta. Algunos llegan a pensar, incluso, que lo que ocurre es que en realidad los objetos "celestes" no se comportan igual que los "terrestres", porque se liberan de la atracción terrestre.

No se tiene en cuenta, por una parte, que tanto la nave como el astronauta que va dentro de ella se encuentran sometidos a una atracción gravitatoria terrestre casi tan intensa como en la propia superficie de la Tierra (pensemos que las naves suelen situarse a menos de 500 km de dicha superficie, lo que no supone una gran variación con relación a los más de 6.000 km del radio de la Tierra). Es precisamente la existencia de esa fuerza gravitatoria lo que explica que la velocidad de la nave vaya cambiando continuamente de dirección. Si realmente la fuerza gravitatoria fuera muy débil o estuviera contrarrestada por una supuesta "fuerza centrífuga", la nave habría de seguir moviéndose en línea recta y con la velocidad que llevase, tal como establece el primer principio de la dinámica.

¿Por qué, entonces, se dice que los astronautas trabajan en "estado de ingravidez"? Se trata de una "ingravidez aparente", ya que la gravedad sigue actuando. Todos los cuerpos del interior de la nave, y la propia nave, tienen la misma aceleración: la de la gravedad. Es la misma situación que la de los cuerpos en un ascensor en caída libre. Si en este caso una persona en su interior suelta un lápiz, éste no caería al suelo. Así pues, cuando se dice que un astronauta está en estado de "ingravidez" debe interpretarse que *se halla en caída libre*, sometido a la acción de la fuerza gravitatoria terrestre, no que se encuentre en un lugar donde no exista gravedad. Flota dentro de la estación espacial análogamente a como lo haría otra persona dentro de la cabina de un ascensor al que se le hubiesen roto los cables.

Mediante las dos cuestiones anteriores hemos tenido ocasión de asomarnos al problema de los errores que se suelen cometer al plantearse la utilización de algunos conceptos básicos de ciencias en determinados contextos. Dichos errores afectan a la mayoría de los campos científicos. Miles de artículos publicados dan cuenta de ello. Pueden consultarse, por ejemplo, las periódicas recopilaciones de trabajos realizadas por Duit y colaboradores (Pfundt y Duit, 1998; Duit, 2004).

Pero nuestro principal interés aquí estriba en comprender sus causas y diseñar estrategias de enseñanza que permitan salir al paso de unos resultados tan negativos *también* en el aprendizaje teórico (Gil-Pérez et al., 1991).

Propuesta de trabajo

Indiquen, a título de hipótesis, cuáles podrían ser las causas fundamentales que expliquen el origen y la persistencia de los errores conceptuales en el aprendizaje de las ciencias.

CAUSAS DE LOS ERRORES CONCEPTUALES

Los intentos de explicación de la abundancia y persistencia de errores conceptuales en numerosos dominios de las ciencias han apuntado básicamente a dos causas, relacionadas, además, entre sí: por una parte, se ha barajado la hipótesis –con unos u otros matices– de que esos "errores" constituyen más bien ideas espontáneas o preconcepciones que los alumnos ya tenían previamente al aprendizaje escolar. En segundo lugar, la atención se ha dirigido hacia el tipo de enseñanza habitual, poniendo en duda que la transmisión de conocimientos elaborados haga posible una recepción significativa de los mismos, es decir, haga posible que los alumnos aprendan significativamente las ideas que les han transmitido. Nos referiremos con algún detalle a los estudios realizados en ambos campos.

Propuesta de trabajo

¿Hasta qué punto puede aceptarse que los niños y niñas posean ideas previas a la enseñanza (preconcepciones) sobre cuestiones relacionadas con la ciencia?

Las investigaciones sobre errores conceptuales condujeron muy rápidamente a distintos autores a verificar la hipótesis relativamente plausible de la existencia en los niños de ideas sobre temas científicos previas al aprendizaje escolar y que fueron designadas como *teorías ingenuas* (Caramazza, Mccloskey y Green, 1981), *ciencia de los niños* (Gilbert, Osborne y Fensham, 1982; Osborne y Bell, 1983), *esquemas conceptuales alternativos* (Driver y Easley, 1978), r*epresentaciones* (Giordan, 1985), etc.

Conviene señalar que, aunque el interés por las preconcepciones es reciente, existen precedentes que, con notable antelación, llamaron la atención sobre la "prehistoria del aprendizaje" (Vigotsky, 1973) o se refirieron al hecho de que, a menudo, "se conoce contra un conocimiento anterior" (Bachelard, 1938). Y es necesario no olvidar tampoco los trabajos de Piaget (1971), que plantean el rastreo del origen psicológico de las nociones hasta sus estadios precientíficos, o de Ausubel (1978), quien llega hasta afirmar: "Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente".

La mayoría de los estudios, realizados en campos muy diversos (Pfundt y Duit, 1998), coinciden básicamente en la caracterización de esos conocimientos previos (Driver, 1986):

- Parecen dotados de cierta coherencia interna (de aquí que autores como Driver hablen de "esquemas conceptuales" y no de simples preconcepciones aisladas).
- Son comunes a estudiantes de diferentes medios y edades.
- Presentan cierta semejanza con concepciones que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento.
- Son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual, incluso reiterada.

También la mayoría de los autores coinciden en considerar esas preconcepciones como el fruto de las experiencias cotidianas de los niños, tanto de sus experiencias físicas (que están constantemente reforzando la idea de que los cuerpos más pesados caen más aprisa,

o de que hace falta aplicar una fuerza para que un cuerpo se mueva, etc.), como de las sociales (a través, por ejemplo, del lenguaje [Llorens, De Jaime y Llopis, 1989] que constituye la cristalización de un conocimiento precientífico en el que, por ejemplo, calor y frío aparecen como sustancias o la palabra animal constituye un insulto). El carácter reiterado de estas experiencias explicaría la persistencia y demás características de las preconcepciones (ser comunes a estudiantes de diferentes medios y edades, etc.). Algunos autores, sin embargo, han defendido interpretaciones diferentes. Conviene detenerse en estudiar sus argumentos –compartidos intuitivamente por parte del profesorado– y profundizar así en el origen de esas preconcepciones para fundamentar un posible tratamiento de las mismas que facilite la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos, evitando los "errores conceptuales".

Nos referiremos en primer lugar a las tesis de McClelland (1984), quien expresa toda una serie de reservas acerca de la existencia misma de esquemas conceptuales alternativos:

a) Suponer que los alumnos poseen esquemas conceptuales de una cierta coherencia significa atribuirles un comportamiento similar al de los científicos, ignorando la diferencia radical entre el pensamiento de los niños y el de los científicos.

b) Los fenómenos físicos no son lo suficientemente relevantes para la inmensa mayoría de los seres humanos y, por tanto, para muchos no pueden ser objeto de la concentración y esfuerzo necesarios que precisa la construcción de esquemas teóricos.

c) Las respuestas de los niños a las cuestiones que se les plantean sobre los fenómenos físicos que forman parte de su experiencia, no son indicativas de la existencia de preconcepciones, sino el resultado de un cierto imperativo social que les obliga a una "inatención estratégica", es decir, a dar una respuesta dedicándole el mínimo de atención necesaria para no chocar con el profesor.

d) Al suponer que el desarrollo histórico de las ideas científicas se reproduce en cada individuo, se infravalora gravemente la potencia y cohesión de las ideas de los adultos en cualquier sociedad humana y se olvidan las diferencias de contexto y de propósito entre el pensamiento adulto y el infantil.

No es difícil mostrar algunas insuficiencias en los argumentos de McClelland. En primer lugar, al imputar los errores conceptuales a una "inatención estratégica" de los alumnos y no a la existencia de verdaderas preconcepciones, no tiene en cuenta que algunos de esos errores –particularmente en el dominio de la mecánica– no son sólo cometidos por niños, sino también por estudiantes universitarios e incluso por profesores en activo. No se puede negar pues la existencia de preconcepciones –algunas profundamente enraizadas y de difícil substitución por los conceptos científicos– ni interpretar los errores conceptuales como resultado de la inatención de los niños frente a cuestiones que no les interesan.

Es cierto que, como McClelland señala, la diferencia entre el pensamiento de los niños y el de los científicos es categórica y no de grado; pero lo mismo puede decirse acerca de las concepciones elaboradas por los pensadores de la antigua Grecia: son esencialmente diferentes de las ideas científicas. De hecho, las claras semejanzas entre las concepciones infantiles sobre el movimiento y el paradigma aristotélico –mostradas por los estudios de Piaget (1970) sobre epistemología genética– no pueden ser accidentales, sino la consecuencia de una misma metodología, consistente en sacar conclusiones a partir de observaciones cualitativas no controladas, en extrapolar las "evidencias", aceptándolas acríticamente (Piaget, 1969). Ésta es la forma de pensamiento que llevaba a Aristóteles a escribir: "Un peso dado cubre una cierta distancia en un tiempo dado, un peso mayor

cubre la misma distancia en un tiempo menor, siendo los tiempos inversamente proporcionales a los pesos. Así, si un peso es doble de otro, tardará la mitad de tiempo en realizar un movimiento dado" (De Caelo). Y ésta es la metodología que lleva a los alumnos (e incluso a estudiantes universitarios y profesores en formación) a afirmar que "un cuerpo con doble masa que otro caerá en la mitad de tiempo que éste". Podríamos así decir que la distinción entre el pensamiento infantil y el pensamiento precientífico de los adultos es sólo de grado, no categórica: el paradigma aristotélico es, sin duda, más elaborado y coherente que los esquemas conceptuales de los alumnos, pero ambos se basan en "evidencias de sentido común" (Gil-Pérez y Carrascosa, 1985; Hashweh, 1986).

Quisiéramos señalar por último que, si bien los fenómenos físicos no son suficientemente relevantes para llevar a los alumnos a teorizar sobre ellos, no debemos olvidar que a lo largo de muchos años las experiencias cotidianas han impuesto inconscientemente una cierta visión del comportamiento de la materia (tendencia de los objetos al reposo, etc.) muy similar a las concepciones aristotélicas. No se trata, pues, de teorización, sino de aceptación acrítica de lo que parece evidente.

Una postura diametralmente opuesta es la que sostiene Preece (1984), quien para explicar la persistencia de las preconcepciones avanza la hipótesis de que no son fruto de la experiencia, sino ideas innatas (lo que explicaría también su semejanza con las concepciones históricas). Dicha hipótesis, sin embargo, no tiene en cuenta que las ideas intuitivas de nuestros alumnos no son fácilmente adquiridas; por el contrario, son el resultado de un largo proceso basado en experiencias cotidianas en un cierto medio cultural. Y lo mismo puede decirse del paradigma aristotélico. De hecho, los alumnos muy jóvenes o las culturas muy primitivas no tienen la relativa coherencia de los esquemas conceptuales alternativos de los adolescentes o de la física preclásica. Por otra parte, el punto de vista innatista no da ninguna explicación acerca de cómo el paradigma aristotélico fue históricamente substituido, ni de qué puede hacerse para ayudar a los alumnos a adquirir conceptos científicos que se oponen a las ideas innatas.

Los resultados concordantes de numerosas investigaciones permiten afirmar la existencia de esquemas conceptuales espontáneos. Dichos esquemas tendrían en cierto modo la categoría de conocimientos precientíficos, fruto de una epistemología del sentido común, próxima a la que explica la constitución de la física aristotélico-escolástica, vigente durante más de veinte siglos y cuyo desplazamiento por la física clásica no fue precisamente fácil. Tenemos aquí un primer elemento explicativo de la persistencia de las preconcepciones.

Pero la existencia de preconcepciones no puede por sí sola justificar los resultados tan negativos obtenidos por la enseñanza habitual en la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos. Una mínima aproximación a la historia de las ciencias basta para darse cuenta de que los conocimientos científicos no fueron construcciones *ex nihilo,* sino que partieron de –y, a menudo, se enfrentaron con– concepciones precientíficas de una cierta coherencia. La existencia de preconcepciones, o, si se prefiere, de concepciones precientíficas, fruto de experiencias reiteradas, era algo perfectamente esperable, con lo que había que contar. Algo que Bachelard (1938) había ya señalado con toda claridad cincuenta años atrás: "Me ha sorprendido siempre que los profesores de ciencias, en mayor medida, si cabe, que los otros, no comprendan que no se comprenda (...) No han reflexionado sobre el hecho de que el adolescente llega a la clase de física con conocimientos empíricos ya constituidos; se trata, pues, no de *adquirir* una cultura experimental, sino más bien de *cambiar* de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya

acumulados por la vida cotidiana". No sería, según esto, la existencia de preconcepciones en sí lo que explicaría los mediocres resultados obtenidos en el aprendizaje de conceptos, sino la "falta de comprensión" del profesorado que señala Bachelard, es decir, la propia enseñanza. Conviene detenerse, pues, en analizar la posible inadecuación de esa enseñanza para facilitar la adquisición de los conocimientos científicos.

Propuesta de trabajo

Analicen críticamente la enseñanza habitual con objeto de profundizar en la comprensión de su ineficacia para desplazar las concepciones precientíficas por los conocimientos científicos.

Lo que hemos visto hasta aquí sobre las preconcepciones incluye ya una primera crítica a la enseñanza habitual: su ignorancia de aquello que los alumnos ya conocen, la creencia de que basta transmitir los conocimientos científicos de forma clara y ordenada para que los alumnos los comprendan. La sorpresa general con que fueron recibidos los primeros resultados sobre "errores conceptuales" es ya un claro índice de que las estrategias de enseñanza no tenían en cuenta las concepciones iniciales de los alumnos. Esa ausencia de atención a lo que el alumno o alumna pueda pensar, a los obstáculos que esas preconcepciones puedan representar, resulta muy evidente en los libros de texto, como han mostrado diversos análisis (Gené, 1986; Carrascosa, 1987). Puede decirse, en efecto, que en la gran mayoría de los textos:

- no se incluyen actividades que permitan poner de manifiesto (directa o indirectamente) las posibles concepciones alternativas de los alumnos acerca de los temas estudiados;
- no se incluyen actividades ni se hacen referencias que lleven a analizar críticamente lo que dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca de los conceptos implicados;
- no se incluyen observaciones que llamen la atención sobre las ideas que históricamente han supuesto una barrera a la construcción de los conocimientos (y que podrían constituir también una barrera para el aprendizaje de los alumnos) en el dominio considerado;
- no se incluyen actividades para ver en qué medida se ha conseguido la comprensión real de los conceptos introducidos, en qué medida las concepciones precientíficas han sido superadas.

Se han hecho también análisis de los errores conceptuales contenidos en los mismos textos: las "perlas" son innumerables y van desde títulos como "Las fuerzas como causa del movimiento" a explicaciones (?) del movimiento circular uniforme del tipo "Por el principio de acción y reacción, la fuerza centrípeta crea en el cuerpo otra igual y opuesta denominada centrífuga". Pero más grave que esta transmisión directa de concepciones incorrectas –que tiene, sobre todo, un valor de síntoma– es la visión que se transmite del trabajo científico, a la que ya nos hemos referido en capítulos anteriores: los conceptos son introducidos de forma aproblemática, es decir, sin referencia a los problemas que condujeron a su construcción (Otero, 1985) ni detenerse en los conflictos de ideas que el

tratamiento de esos problemas generó. No sólo se ignora así que el alumno no es una tabula rasa, sino que se trivializa el cambio de ideas que la construcción de los conocimientos científicos supone, llegando incluso a presentarlos como expresión del sentido común, cuando constituyen precisamente la ruptura con las "evidencias" de ese sentido común. Se olvida, en definitiva, que "las ciencias físicas y químicas, en su desarrollo contemporáneo, pueden caracterizarse epistemológicamente como dominios del pensamiento que rompen netamente con los conocimientos vulgares" (Bachelard, 1938).

Los resultados de la investigación apuntan a que una enseñanza que se limita a presentar los conocimientos elaborados, escondiendo todo el proceso que conduce a su elaboración, impide que los alumnos puedan hacer suyas las nuevas ideas, que sólo tienen sentido en la medida en que el tratamiento de determinados problemas exige su construcción (a menudo, *contra* concepciones previas más o menos sólidas).

¿En qué medida estas críticas explican realmente las dificultades de los alumnos? Tan sólo si teniéndolas en cuenta se consiguen resultados netamente mejores podrán aceptarse como válidas. Constituyen tan sólo explicaciones "tentativas" que exigen, para ser contrastadas, la elaboración de estrategias de enseñanza basadas en las mismas y la constatación de que con ellas los resultados del aprendizaje son significativamente más positivos.

PROPUESTAS ALTERNATIVAS PARA LA INTRODUCCIÓN DE LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS

El principal interés de las investigaciones sobre esquemas conceptuales alternativos de los alumnos no reside, por supuesto, en el conocimiento detallado de cuáles son sus preconceptos en cada campo, aun cuando dicho conocimiento aparezca hoy como imprescindible para un correcto planteamiento de las situaciones de aprendizaje. La fecundidad de esta línea de investigación está asociada, sobre todo, a la elaboración de un nuevo modelo de aprendizaje de las ciencias.

Propuesta de trabajo

¿Qué estrategias para la enseñanza/aprendizaje de las ciencias podrían derivarse de los estudios sobre preconcepciones?

La necesidad de nuevas estrategias de aprendizaje que hicieran posible el desplazamiento de las concepciones espontáneas por los conocimientos científicos ha dado lugar a propuestas que –al margen de algunas diferencias, particularmente terminológicas– coinciden básicamente en concebir el aprendizaje de las ciencias como una *construcción* de conocimientos, que parte necesariamente de un conocimiento previo. Se puede hablar así de la emergencia de un modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias (Novak, 1988) que integra las investigaciones sobre didáctica de las ciencias (Hewson, 1981; Posner et al., 1982; Gil-Pérez, 1983 y 1993; Osborne y Wittrock, 1983; Resnick, 1983; Driver, 1986 y 1988; Hodson, 1988...) con muchas otras contribuciones precedentes (Bachelard, Kelly, Piaget, Vigotsky...). Driver (1986) resumió así las principales características de la visión constructivista:

- Lo que hay en el cerebro del que va a aprender tiene importancia.
- Encontrar sentido supone establecer relaciones: los conocimientos que pueden conservarse permanentemente en la memoria no son hechos aislados, sino aquellos muy estructurados y que se relacionan de múltiples formas.
- Quien aprende construye activamente significados.
- Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje.

Particular influencia en el replanteamiento de la enseñanza de las ciencias ejerció la propuesta de considerar el aprendizaje como un ***cambio conceptual*** (Posner et al., 1982), fundamentada en el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos. Según esto, el aprendizaje significativo de las ciencias constituye una actividad racional semejante a la investigación científica, y sus resultados –el cambio conceptual– pueden contemplarse como el equivalente, siguiendo la terminología de Kuhn (1971), a un cambio de paradigma. A partir de las ideas de Toulmin (1977) sobre filosofía de la ciencia, Posner et al. (1982) identifican una serie de condiciones para que tenga lugar el cambio conceptual:

- Es preciso que se produzca insatisfacción con los conceptos existentes.
- Ha de existir una nueva concepción, mínimamente inteligible, que debe llegar a ser plausible (aunque inicialmente contradiga las ideas previas del alumno).
- Dicha concepción también ha de ser potencialmente fructífera, dando explicación a las anomalías encontradas y abriendo nuevas áreas de investigación.

Para el logro de dicho cambio conceptual, Driver (1986) propuso la siguiente secuencia de actividades:

- La identificación y clarificación de las ideas que ya poseen los alumnos.
- La puesta en cuestión de las ideas de los estudiantes a través del uso de contraejemplos.
- La introducción de nuevos conceptos, bien mediante "tormenta de ideas" de los alumnos, o por presentación explícita del profesor, o a través de los materiales de instrucción.
- Proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar las nuevas ideas y hacer así que adquieran confianza en las mismas.

Los resultados experimentales sugieren que estas estrategias de enseñanza basadas en el modelo de cambio conceptual favorecen la adquisición de conocimientos científicos más eficazmente que la estrategia habitual de transmisión/recepción. De hecho, la atención a las ideas previas de los alumnos y la orientación de la enseñanza tendente a hacer posible el cambio conceptual aparecen hoy como adquisiciones relevantes de la didáctica de las ciencias, a la vez teóricamente fundamentadas y apoyadas por evidencia experimental. Pese a ello, algunos autores han constatado que ciertas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso cuando ésta está orientada explícitamente a producir el cambio conceptual (Fredette y Lochhead, 1981; Engel y Driver, 1986; Shuell, 1987; White y Gunstone, 1989).

Las estrategias de cambio conceptual proponen comenzar el estudio de un tema sacando a la luz las preconcepciones que los estudiantes tienen en este campo para, a continuación, ponerlas en cuestión, a través del uso de contraejemplos, y provocar así conflictos cognitivos que preparen para aceptar las ideas científicas correctas.

Propuesta de trabajo

Señalen posibles inconvenientes de estas estrategias de cambio conceptual para explicar por qué sus resultados no son suficientemente positivos y sugieran posibles modificaciones.

Los limitados avances logrados con el modelo de cambio conceptual condujeron a una profundización del modelo, teniendo en cuenta otros aspectos además de la existencia de preconcepciones. En efecto, como ya hemos mencionado, la importancia de las concepciones alternativas de los alumnos y la necesidad de orientar el aprendizaje como un cambio conceptual y no como una adquisición *ex nihilo* puede basarse en la existencia de un cierto isomorfismo entre el aprendizaje (es decir, la construcción de conocimientos por los alumnos a partir –y en ocasiones en contra– de sus preconcepciones) y la investigación (es decir, la construcción de conocimientos por la comunidad científica a partir –y en ocasiones en contra– del paradigma vigente). Pero este mismo isomorfismo sugiere que para producir el cambio conceptual no basta con tomar en consideración las preconcepciones de los alumnos.

Nos hemos referido a cómo algunas preconcepciones de nuestros alumnos (caída de graves, comportamiento de los gases, concepto de fuerza, origen de ciertos seres vivos, etc.) recuerdan ciertas ideas que estuvieron vigentes, a veces durante siglos, antes del desarrollo de la ciencia moderna. Este paralelismo ya ha sido puesto de manifiesto reiteradamente por muchos autores que han señalado su importancia para enfocar más adecuadamente el aprendizaje de las ciencias.

Propuesta de trabajo

¿Qué consecuencias didácticas pueden derivarse del paralelismo entre las preconcepciones de los estudiantes y algunas ideas vigentes en los orígenes de la ciencia para el tratamiento del problema de las concepciones alternativas?

La semejanza entre las ideas intuitivas de los alumnos y las concepciones preclásicas no puede ser accidental, sino el resultado de una misma forma de abordar los problemas que ya hemos descrito. Recapitulando podemos decir que los esquemas conceptuales alternativos están asociados –al igual que lo estuvo la física preclásica– con una metodología caracterizada por la certidumbre, por la ausencia de dudas y la no consideración de soluciones alternativas, por respuestas muy rápidas y seguras basadas en las evidencias del sentido común y por tratamientos puntuales con falta de coherencia en el análisis de diferentes situaciones (Minestrell, 1982; Whitaker, 1983; Hewson, 1985).

Según esto, cabría pensar que ***un cambio conceptual no es posible sin un cambio metodológico***. De hecho, el paradigma preclásico sólo pudo ser desplazado gracias a la nueva metodología que combinaba la creatividad del pensamiento divergente con el rigor de la contrastación de las hipótesis mediante experimentos en condiciones controladas y la búsqueda de coherencia global. Históricamente, ese cambio conceptual no fue en absoluto

fácil y es lógico pensar que lo mismo ocurrirá con los alumnos: solamente si son puestos reiteradamente en situación de aplicar esta metodología (es decir, en situación de construir hipótesis, diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, con una atención particular a la coherencia global, etc.) será posible que superen su metodología del sentido común al tiempo que se producen los profundos cambios conceptuales que exige la construcción del conocimiento científico.

Las consideraciones anteriores implican una crítica de las estrategias de enseñanza de cambio conceptual que hemos descrito, en un doble aspecto: por una parte dichas estrategias parecen poner exclusivamente el acento en la modificación de las ideas. Y aunque es cierto, como señala Hewson (1985), que el cambio conceptual tiene sus exigencias epistemológicas y no debe considerarse como un simple cambio del contenido de las concepciones, en nuestra opinión es necesario una mayor insistencia en que el cambio conceptual comporta un cambio metodológico, por lo que las estrategias de enseñanza han de incluir explícitamente actividades que asocien el cambio conceptual con la práctica de aspectos clave de la metodología científica, tal como ocurrió históricamente. Pensemos, a este respecto, que uno de los defectos de la enseñanza de las ciencias repetidamente denunciado ¿ ha sido el de estar centrada casi exclusivamente en los conocimientos declarativos (en los "qué"), olvidando los procedimentales (los "cómo"). No puede así esperarse que baste hablar de cambio conceptual para que se tengan en cuenta las exigencias metodológicas y epistemológicas que ello comporta. Por el contrario, cabe temer que sin una insistencia muy explícita y fundamentada, las actividades creativas del trabajo científico –la invención de hipótesis, la elaboración de diseños experimentales, etc.– continúen prácticamente ausentes de las clases de ciencias (Yager y Penick, 1983). Sin embargo, las estrategias de enseñanza a que nos hemos referido en el apartado anterior no parecen incluir esta aproximación de la actividad de los alumnos a lo que constituye la investigación científica.

Aún es posible hacer otra crítica más fundamental, si cabe, a esas estrategias de enseñanza: la secuencia que proponen consiste, como se recordará, en sacar a la luz las ideas de los alumnos, favoreciendo su formulación y consolidación, para después crear conflictos que las pongan en cuestión e introducir a continuación las concepciones científicas cuya mayor potencia explicativa va a hacer posible el cambio conceptual.

Es cierto que dicha estrategia puede, puntualmente, dar resultados muy positivos al llamar la atención sobre el peso de ciertas ideas de sentido común, asumidas acríticamente como evidencias; pero también es cierto que se trata de una estrategia "perversa". En efecto, ¿qué sentido tiene hacer que los alumnos expliciten y afiancen *sus* ideas para seguidamente cuestionarlas?, ¿cómo no ver en ello un artificio que aleja la situación de lo que constituye la construcción de conocimientos?

Esa construcción nunca se plantea para cuestionar ideas, para provocar cambios conceptuales, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas de interés; problemas que se abordan, como es lógico, a partir de los conocimientos que se poseen y de nuevas ideas que se construyen a título tentativo. En ese proceso, las concepciones iniciales podrán experimentar cambios e incluso, aunque más raramente, ser cuestionadas radicalmente, pero ése no será nunca el objetivo, sino, repetimos, la resolución de los problemas planteados.

Por esta razón, la estrategia de enseñanza que nos parece más coherente con la orientación constructivista es la que plantea el aprendizaje como ***tratamiento de situaciones problemáticas de interés***. Y de nuevo esto nos remite a la necesidad de asociar el aprendizaje

de conocimientos teóricos a la familiarización con el trabajo científico: todo aprendizaje aparece ahora como tratamiento de situaciones problemáticas y desaparece la habitual separación entre las actividades de introducción de conceptos, resolución de problemas y trabajos prácticos (Gil-Pérez et al., 1999).

EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA

La convergencia de las investigaciones en torno a los distintos aspectos del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias (prácticas, problemas, teoría) permite reforzar el modelo de aprendizaje como investigación orientada –que esbozamos en el capítulo 2 para la superación de la imagen distorsionada y empobrecida de la ciencia– que plantea el aprendizaje como *tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que los alumnos puedan considerar de interés*.

Propuesta de trabajo

Teniendo en cuenta las contribuciones de la investigación en torno a las visiones distorsionadas y empobrecidas de la ciencia (capítulo 2), a las prácticas de laboratorio (capítulo 4), a la resolución de problemas de lápiz y papel (capítulo 5) y a la introducción y manejo de conceptos, propongan unas orientaciones generales para favorecer el aprendizaje de las ciencias.

Las contribuciones de la investigación e innovación en torno a los problemas que plantea el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias apuntan convergentemente a unas estrategias dirigidas, esencialmente, a implicar a los estudiantes –como "investigadores noveles"– en la construcción de conocimientos, *aproximando* la actividad que realizan a la riqueza de un tratamiento científico-tecnológico de problemas. Se trata, en síntesis, de plantear el aprendizaje como un trabajo de *investigación y de innovación,* a través del *tratamiento de situaciones problemáticas* relevantes para la construcción de conocimientos científicos y el logro de innovaciones tecnológicas susceptibles de satisfacer determinadas necesidades. Ello ha de contemplarse como una actividad abierta y creativa, debidamente orientada por el profesor como "investigador experto", que se inspira en el trabajo de científicos y tecnólogos, y que debería incluir toda una serie de aspectos, ya mencionados en el cuadro 1 del capítulo 2 y que hemos ido reencontrando al estudiar el trabajo experimental o la resolución de problemas de lápiz y papel:

- *La discusión del posible interés y relevancia de las situaciones* propuestas que dé sentido a su estudio y evite que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora o contemplado la necesaria *toma de decisiones,* por parte de la comunidad científica, acerca de la conveniencia o no de dicho trabajo (teniendo en cuenta su posible contribución a la comprensión *y transformación* del mundo, sus repercusiones sociales y medioambientales, etc.).

- *El estudio cualitativo, significativo, de las situaciones problemáticas* abordadas, que ayude a comprender y acotar dichas situaciones a la luz de los conocimientos disponibles, de los objetivos perseguidos... y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca (ocasión para que los estudiantes comiencen a explicitar *funcionalmente* sus concepciones).
- *La invención de conceptos y emisión de hipótesis* fundamentadas, susceptibles de focalizar y orientar el tratamiento de las situaciones, al tiempo que permiten a los estudiantes utilizar sus "concepciones alternativas" para hacer predicciones susceptibles de ser sometidas a prueba.
- *La elaboración y puesta en práctica de estrategias de resolución*, incluyendo, en su caso, el diseño y realización de montajes experimentales para someter a prueba las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone, lo que exige un trabajo de naturaleza tecnológica para la resolución de los problemas prácticos que suelen plantearse (como, p.e., la disminución de las incertidumbres en las mediciones). Llamamos particularmente la atención sobre el interés de estos diseños y realización de experimentos que exigen (*y ayudan a desarrollar*) una multiplicidad de habilidades y conocimientos. Se rompe así con los aprendizajes mal llamados "teóricos" (en realidad, simplemente librescos) y se contribuye a mostrar la estrecha vinculación ciencia-tecnología.
- *El análisis y comunicación de los resultados*, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de estudiantes y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en ocasión de *conflicto cognoscitivo* entre distintas concepciones (tomadas todas ellas como hipótesis) y favorecer la "autorregulación" de los estudiantes, obligando a concebir nuevas conjeturas, o nuevas soluciones técnicas, y a replantear la investigación. Es preciso detenerse aquí en la importancia de la comunicación como sustrato de la dimensión colectiva del trabajo científico y tecnológico. Ello supone que los estudiantes se familiaricen con la lectura *y confección* de memorias científicas y trabajos de divulgación.
- *La consideración de las posibles perspectivas:* conexión de los conocimientos construidos con otros ya conocidos, elaboración y perfeccionamiento de los productos tecnológicos que se buscaban o que son concebidos como resultado de las investigaciones realizadas, planteamiento de nuevos problemas... Todo ello se convierte en ocasión de manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones, contribuyendo a su profundización y resaltando en particular las relaciones ciencia, tecnología sociedad y ambiente que enmarcan el desarrollo científico, con atención a las repercusiones de toda índole de los conocimientos científicos y tecnológicos, propiciando, a este respecto, la toma de decisiones.

Cabe insistir, además, en la necesidad de dirigir todo este tratamiento a mostrar el carácter de cuerpo coherente que tiene toda ciencia, favoreciendo para ello las *actividades de síntesis* (esquemas, memorias, recapitulaciones, mapas conceptuales...) y la *elaboración de productos* susceptibles de romper con planteamientos excesivamente escolares y de reforzar el interés por la tarea.

Es conveniente remarcar que *las orientaciones precedentes no constituyen un algoritmo* que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos, sino indicaciones genéricas que llaman la atención sobre aspectos esenciales en la construcción de conocimientos científicos que, a menudo, no son suficientemente tenidos en cuenta en la educación

científica. Nos referimos tanto a los aspectos metodológicos como a los axiológicos: relaciones CTSA, toma de decisiones, comunicación de los resultados... El aprendizaje de las ciencias es concebido, así, no como un simple cambio conceptual, sino como un cambio a la vez conceptual, metodológico y axiológico que convierte el aprendizaje en un proceso de *investigación orientada* que permite a los alumnos participar en la (re)construcción de los conocimientos científicos, lo que favorece un aprendizaje más eficiente y significativo (Hodson, 1992; National Research Council, 1996; Gil-Pérez et al., 2002).

En la tercera parte de este libro presentaremos ejemplos concretos de cómo orientar la introducción de conceptos como una actividad de investigación. Nos remitimos, como ejemplo paradigmático, al capítulo 10, en el que se introducen los conceptos de trabajo y energía siguiendo estas estrategias de aprendizaje como investigación orientada.

Dedicaremos el capítulo 7 a estudiar con una cierta atención las actividades de recapitulación y establecimiento de perspectivas, a las que habitualmente se dedican, en el mejor de los casos, algunas líneas al final de un tema, pero que constituyen una ocasión privilegiada para abordar aspectos fundamentales de la actividad científica, muy a menudo insuficientemente desarrollados.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir de los siguientes trabajos:

GIL-PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori. (Capítulo 3: "El aprendizaje de los conocimientos teóricos").

Referencias bibliográficas en este capítulo

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. y HANESIAN, H. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.

BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.

CARAMAZZA, A., McCLOSKEY, M. y GREEN, B. (1981). Naive beliefs in "sophisticated" subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognitions*, 9, 117-123.

CARRASCOSA, J. (1987). Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales. Tesis doctoral. Valencia: Servei de Publicacions de la Universitat de Valencia.

DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-15.

DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.

DRIVER, R. y EASLEY, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 10, 37-70.

DUIT, R. (2004). Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education (STCSE). INP Kiel, disponible en: www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html

ENGEL, E. y DRIVER, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), 473-496.

FREDETTE, N. y LOCHHEAD, J. (1981). Students conceptions of electric current. *The Physics Teacher*, 18, 194-198.

GENÉ, A. (1986). Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada. Tesis doctoral. Barcelona: Biblioteca de la Facultat de Biología de la Universitat de Barcelona.

GIL- PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 26-33.

GIL-PÉREZ, D. (1993). "Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación". *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.

GIL-PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ, J., GUISASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS, A., GOFFARD, M. y PESSOA A. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias,* 17(2), 311-320.

GIL-PÉREZ, D., GUISASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA, A., MARTÍNEZ, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS, A., TRICÁRICO, H. y GALLEGO, R. (2002), Defending constructivism in science education, *Science & Education*, 11, 557-571.

GILBERT, J. K., OSBORNE, R. J. y FENSHMAN, P. J. (1982). Children's Science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633.

GIORDAN, A. (1985). Interés didáctico de los errores de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), 11-17.

HASHWEH, M. Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.

HEWSON, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.

HEWSON, P. W. (1985). Epistemological commitments in the learning of science: examples from dynamics. *European Journal of Science Education*, 7, 163-172.

HODSON, D. (1988). Towards a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1), 19-40.

HODSON, D. (1992). In Search of a Meaningful Relationship: An Exploration of Some Issues Relating to Integration in Science and Science Education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.

KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

LLORENS, J. A., DE JAIME, Mª C. y LLOPIS, R. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 111-119.

McCLELLAND, J. A. G. (1984). Alternative frameworks: Interpretation of evidence. *European Journal of Science Education,* 6, 1-6.

MINISTRELL, J. (1982). Explaining the "at rest" condition of an object. *Physics Teacher*, 20, 10-14.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*, National Academy Press, Washington, Dc.

NOVAK, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 213-223.

OSBORNE, R. y BELL, B. F. (1983). Science Teaching and Children's views of the world. *European Journal of Science Education*, 5(1), 1-14.

OSBORNE, R. y WITTROCK, M. (1983). Learning Science: a generative process. *Science Education*, 67, pp. 490-508.

OTERO, J. (1985). Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7(4), 361-369.

PFUNDT, H. y DUIT, R. (1998). *Bibliography of students' alternative frameworks in science education*. Kiel. Germany: IPN.

PIAGET, J. (1969). *Psicología y Pedagogía*. Barcelona: Ariel.

PIAGET, J. (1970). *La epistemología genética*. Barcelona: Redondo.

PIAGET, J. (1971). *Psicología y Epistemología*. Barcelona: Ariel.

POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON P. W. y GERTZOG W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

PREECE, P. F. (1984). Intuitive Science: Learned or Triggered? *European Journal of Science Education*, 6(1), 7-10.

RESNICK, L. B. (1983). Mathematics and Science Learning: a new conception. *Science*, 220, 477-478.

SHUELL, T. J. (1987). Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science. *Science Education*, 71(2), 239-250.

TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos* Madrid: Alianza.

VIENNOT, L. (1979). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Elémentaire*. Paris: Herman.

VIGOTSKY, L. S. (1973). Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. *Psicología y Pedagogía*. Madrid: Akal.

WHITAKER, R. J. (1983). Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51, 352-357.

WHITE, T. R. y GUNSTONE, F. R. (1989). Meta-learning and conceptual change. *International Journal Science Education*, 11, 577-586.

YAGER, R. E. y PENICK, J. E. (1983). Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, 5, 463-459.

Capítulo 7

¿Qué hacer antes de finalizar?

Daniel Gil Pérez y Amparo Vilches

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Qué aspectos de la actividad científica convendría tratar, con una cierta profundidad, al recapitular el trabajo realizado?
- ¿Cuáles son las revoluciones científicas y las fusiones entre distintos campos que conviene tener particularmente presentes en las recapitulaciones, para evitar que estos momentos cumbre del desarrollo científico pasen desapercibidos, como desgraciadamente ocurre a menudo?
- ¿Qué papel han de jugar las relaciones CTSA en las recapitulaciones?
- ¿Cuál puede ser el papel de la educación no formal (no reglada) en la enseñanza de las ciencias?
- ¿Qué papel conceder a la comunicación en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y, en particular, en las recapitulaciones?

EXPRESIONES CLAVE

Recapitulaciones; regulación del trabajo realizado; procesos de unificación; historia de la ciencia; relaciones CTSA; perspectivas abiertas; educación no formal.

INTRODUCCIÓN

En esta segunda parte estamos desarrollando una propuesta alternativa para la enseñanza de las ciencias que intenta salir al paso de las deficiencias señaladas en la literatura. Y hasta aquí hemos abordado cuestiones centrales en el proceso de enseñanza/aprendizaje, como la introducción de conceptos, el papel del trabajo experimental o la resolución de problemas de lápiz y papel. No debe extrañar, pues, en la línea que venimos defendiendo de aproximar el proceso de aprendizaje a una investigación orientada, que dediquemos ahora un capítulo a la consideración de lo que, sin embargo, habitualmente ocupa, en el mejor de los casos, algunas líneas al final de un tema. Intentaremos mostrar que las recapitulaciones y la consideración de las perspectivas abiertas constituyen una ocasión privilegiada para abordar aspectos fundamentales de la actividad científica, a menudo insuficientemente desarrollados.

Propuesta de trabajo

¿Qué aspectos de la actividad científica convendría tratar, con una cierta profundidad, al recapitular el trabajo realizado?

Entre los aspectos de la actividad científica que es necesario desarrollar con alguna profundidad al recapitular un trabajo de investigación o, como es el caso que nos ocupa, al recapitular un proceso de aprendizaje orientado como una actividad próxima a una investigación, destacaremos los siguientes:

- La regulación de la propia investigación que se está realizando.
- La remodelación del cuerpo de conocimientos.
- La integración de dominios aparentemente inconexos.
- La reconsideración de las implicaciones CTSA.
- El análisis de las perspectivas abiertas y la toma de decisiones al respecto.
- La comunicación del trabajo realizado..

No se trata, por supuesto, de relegar estas tareas al final de un tema. La necesidad de recapitular en un momento dado puede venir impuesta, por ejemplo, por unos resultados que cuestionan las conjeturas que orientaban la investigación, lo que obliga a revisar el proceso seguido, es decir, a recapitular. Pero, incluso cuando todo parece funcionar según lo previsto, las recapitulaciones son absolutamente necesarias y cumplen funciones esenciales como las señaladas.

Podríamos decir que una recapitulación constituye una pausa de reflexión, de distanciamiento crítico de la rutina de acciones emprendidas, para *repensar* la investigación a partir de la reconsideración de los propósitos iniciales y de nuevas cuestiones asociadas a algunos resultados *inesperados* obtenidos: desde la posible vinculación del estudio realizado con otros campos de investigación hasta nuevas implicaciones prácticas, dilemas éticos, etc.

Hablar, pues, de recapitulación, no es hablar necesariamente del final de un tema, pero es indudable que la recapitulación y el establecimiento de perspectivas tienen un papel importante que jugar en la culminación de un estudio, antes de pasar a otro nuevo. De aquí

que los abordemos ahora, como otras actividades básicas para el estudio científico de una cierta problemática, por desgracia escasamente contempladas en la enseñanza habitual.

Intentaremos seguidamente discutir y ejemplificar someramente cada uno de los aspectos señalados.

LA REGULACIÓN DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

Propuesta de trabajo

Consideremos el papel de las recapitulaciones en la regulación y reorientación de los procesos de investigación. Analicemos, en particular, las dificultades con las que en ocasiones puede tropezar la reorientación y adecuado desarrollo de una investigación, lo que hace más necesaria, si cabe, la recapitulación.

Si tenemos en cuenta que una investigación no sigue un proceso lineal, absolutamente prefijado, se comprenderá la importancia de recapitulaciones periódicas con objeto de regular convenientemente el proceso y reorientarlo, si fuera necesario, para proseguir adecuadamente el tratamiento de los problemas investigados, contemplando y evaluando los logros, modificando o precisando las conjeturas de partida, concibiendo nuevos diseños experimentales, o incluso redefiniendo los problemas estudiados.

Estos replanteamientos no siempre son fáciles, sobre todo cuando tropiezan con "evidencias" aceptadas como hechos incuestionables. Pensemos, por ejemplo, en cómo la aceptación de que todos los objetos celestes debían girar en círculos perfectos en torno a la Tierra o en torno a puntos que, a su vez, giraran en torno a la Tierra (debido a la creencia de que en el cielo todo había de ser perfecto y eterno) bloqueó durante siglos los avances en astronomía, obligando a imaginar la combinación de hasta 70 (!) movimientos circulares para explicar la trayectoria observada de un planeta (Holton y Roller, 1963).

El trabajo de Copérnico, tal como él mismo lo describió en *De Revolutionibus orbium coelestium*, constituye un ejemplo de recapitulación que ayudó a comprender la inutilidad de ir añadiendo movimientos circulares para lograr predicciones adecuadas y la necesidad de *concebir* otras posibilidades, lo que permitió reorientar la investigación astronómica con la audaz hipótesis de aceptar el movimiento de la Tierra y su giro alrededor del Sol. Una hipótesis que se atrevía a desafiar la "evidencia" del reposo de la Tierra (y los dogmas religiosos al respecto), pero que Copérnico fundamentó, no sólo en la imposibilidad de dar cuenta de las observaciones astronómicas con el modelo geocéntrico aceptado, sino también en una búsqueda de otras concepciones que pudieran haber sido sostenidas a lo largo de la historia.

Naturalmente, no todas las recapitulaciones tienen una repercusión tan notable en el curso de una investigación, pero es importante que los alumnos conozcan y aprecien la necesidad de las mismas y, sobre todo, que lo pongan en práctica.

El ejemplo que hemos mencionado nos pone además en contacto con otras de las funciones que las recapitulaciones pueden tener en el desarrollo de los conocimientos

científicos. Nos referiremos, en primer lugar, a la remodelación del cuerpo de conocimientos, que en este caso concreto constituyó un profundo cuestionamiento de las tesis aceptadas, provocando una auténtica revolución científica.

LA REMODELACIÓN DEL CUERPO DE CONOCIMIENTOS

Las investigaciones científicas se apoyan en cuerpos de conocimientos más o menos desarrollados y sus resultados contribuyen, en mayor o menor medida, al afianzamiento y evolución de los mismos. Pero, como ya hemos discutido al analizar las visiones deformadas de la ciencia (capítulo 2), éste es un proceso complejo que puede ir desde el simple reforzamiento del cuerpo de conocimientos de partida, con retoques puntuales del mismo, hasta auténticas revoluciones teóricas como la que supuso, por muchas razones, el paso del geocentrismo al heliocentrismo. Este carácter rupturista, revolucionario, que tienen algunos desarrollos científicos debe ser resaltado, en primer lugar, para favorecer una mejor comprensión de cómo evolucionan los conocimientos científicos, evitando visiones de crecimiento lineal, puramente acumulativo. Pero también porque estas revoluciones científicas suponen momentos culminantes en la historia del pensamiento.

Igualmente importantes son las contribuciones que vienen a reforzar un cuerpo de conocimientos, mostrando su capacidad para predecir y/o explicar coherentemente un amplio espectro de hechos y su aplicabilidad en una multiplicidad de situaciones. Resulta necesario, pues, tener presente explícitamente cómo un cierto estudio afecta al cuerpo de conocimientos de partida, reforzándolo, matizando algún aspecto o, en algunas ocasiones, provocando transformaciones más radicales que conocemos como revoluciones científicas (Kuhn, 1971).

Puede ser conveniente recordar las revoluciones científicas que conozcamos, en cualquiera de los campos que se estudian en la educación secundaria superior (15-18 años) en la que se centra nuestro trabajo, con objeto de evitar que pasen desapercibidos, como desgraciadamente ocurre a menudo, estos momentos cumbre del pensamiento.

Propuesta de trabajo

Señalemos cuáles han sido, en nuestra opinión, algunas de las más importantes revoluciones científicas.

En primer lugar, debemos hacer referencia, por supuesto, al paso del geocentrismo al heliocentrismo, iniciado principalmente por Copérnico y sustentado y enriquecido por el trabajo de Kepler, Galileo, Newton y muchas otras personas, que aparece como el paradigma de las revoluciones científicas, por lo profundamente que afectó tanto a las ideas científicas como a las concepciones del lugar que ocupan los seres humanos en el universo. Y este paso no fue nada fácil ya que, por un lado, el modelo geocéntrico, que tuvo vigencia durante más de veinte siglos, se apoyaba en ideas fuertemente arraigadas basadas en experiencias de la vida cotidiana, en simples observaciones de sentido común. Y, por otro, la visión cosmogónica del mismo, en la que la Tierra ocupaba el centro del universo, se veía apoyada por los dogmas religiosos de la época. Por ello, antes de que las nuevas ideas fueran aceptadas, hubo que superar fuertes oposiciones, barreras y dogmas, largos enfrentamientos entre los defensores del sistema vigente y quienes proponían el

nuevo modelo. Y enfrentamientos, conviene insistir, no sólo en el ámbito científico, sino también, y sobre todo, en el ideológico, con persecuciones y condenas que mostraban hasta qué punto el conocimiento científico está imbricado en las concepciones del mundo y estaba teniendo lugar, pues, una auténtica revolución de las ideas que culminaría con el establecimiento de la Teoría de la Gravitación Universal. No es extraño, por ello, que cuando se quiere resaltar que se ha producido un cambio radical en un campo de conocimientos se hable de "giro copernicano" o "revolución copernicana".

Otro momento que podríamos calificar de gran revolución científica y que como en el anterior hubo de vencer fuertes resistencias ideológicas, que incluso hoy desgraciadamente perduran en algunos países, corresponde a la introducción de la Teoría de la Evolución. Desde la publicación de la obra *El origen de las especies,* de Charles Darwin, uno de los libros más famosos e influyentes de la historia del pensamiento, la Teoría de la Evolución ha constituido un marco de referencia indispensable para comprender la posición de los seres humanos en el cosmos. Si la Teoría Heliocéntrica desplazó a la Tierra del centro del universo, la Teoría de la Evolución desplazó al género humano del lugar que hasta entonces había ocupado, como "cumbre de la Creación", sin relación alguna con el resto de los seres vivos. Y, una vez más, la teoría no fue solamente un acontecimiento científico de primera magnitud, también tuvo el mismo impacto social. Generó grandes controversias y fue conocida en todos los ámbitos, provocando grandes debates en los que se entremezclaban los argumentos científicos y las consideraciones de tipo ideológico, religioso e incluso político, verdaderas batallas contra fuertes prejuicios, ideas aceptadas desde hace siglos, apoyadas en las tesis creacionistas.

No podemos olvidar referirnos a la revolución que supuso el fin de la Teoría Vitalista, que negaba la posibilidad de la síntesis de sustancias orgánicas. Como en otros momentos de la historia del pensamiento a los que nos estamos refiriendo, el camino fue largo y complejo, con un enfrentamiento sostenido entre los vitalistas y los continuadores de la revolución iniciada por Lavoisier, al acometer el análisis de la composición tanto de las sustancias inorgánicas como orgánicas y encontrar que las primeras tenían elementos que también formaban parte de las sustancias de origen biológico. Pero el vitalismo, la idea de la necesidad de un "principio vital" no sometido a las leyes físico-químicas, que separaba a los seres vivos de los inanimados haciendo posible los procesos de la vida, estaba fuertemente establecido en diferentes campos del saber (en particular, en el campo de la medicina: anatomía, patología, morfología, fisiología...) y sustentado en dogmas religiosos considerados inmodificables. Un paso importante en la superación del vitalismo tuvo lugar en el campo de la química orgánica, con la obtención por Wöhler de la sustancia orgánica urea, a partir del compuesto inorgánico cianato de amonio. Aunque se necesitaron todavía muchos años para que las nuevas ideas fueran aceptadas, sus trabajos, junto con los de Liebig, Bunsen, Hofmann, Kekulé, Kolbe y muchos otros, hicieron insostenibles las tesis vitalistas.

Nos hemos referido a la auténtica revolución que supuso el abandonar el geocentrismo, es decir, la idea de un cielo permanente, inmodificable, no sometido a fuerza alguna, girando indefinidamente alrededor de una Tierra en reposo absoluto. También hemos resaltado la revolución que supuso el evolucionismo, que llevó a abandonar la concepción de unas especies inmodificadas e inmodificables desde el "acto de su creación". Pero se seguía pensando que muchas cosas permanecían inalterables. Por ejemplo hasta principios del siglo XX, todavía se pensaba que el universo constituía un sistema estacionario. Aceptar que nuestra galaxia no es la única y que se alejan unas de otras supuso una profundización en el cuestionamiento del modelo geocéntrico. También la distribución de

los continentes de la Tierra se consideraba permanente y, aunque hubo algunos precursores, el mayor impacto en torno a la idea del movimiento de los continentes se produjo con la publicación del libro *El origen de los continentes y océanos,* de Wegener, en 1915. La deriva de los continentes supuso también un paso revolucionario en el ámbito de las Ciencias de la Tierra, como los ejemplos anteriores lo fueron en el campo de la química, la física o la biología, que contribuyó a una mejor comprensión de nuestro "cambiante" planeta. El pasar de creer que los continentes se formaron y desarrollaron en lugares fijos a aceptar que el mundo estaba inicialmente aglutinado en un inmenso continente único que mediante un lento mecanismo dio lugar a nuestros continentes actuales, tampoco fue un camino sencillo. Ciertas barreras ideológicas persistían, aunque la situación social era bien diferente a la que se vivía en las épocas de los ejemplos de las revoluciones anteriores. Como en otras ocasiones, estas ideas encontraron poco eco y hubo que esperar a mediados del siglo para que nuevas evidencias apoyaran la idea del movimiento de los continentes y condujeran a la Teoría de la Tectónica de Placas, que supone la Tierra dividida en un conjunto de unidades rígidas o placas que contienen los continentes y partes de los fondos oceánicos y se desplazan lentamente entre sí.

Y merece la pena detenerse también en la gran revolución de la física, y de toda la ciencia en general, a comienzos del siglo XX, que supuso el cuestionamiento de algunos de los conceptos considerados más sólidos de la ciencia y que condujeron a la Física Relativista y a la Física Cuántica. La imposibilidad de explicar una serie de fenómenos a la luz de las teorías clásicas provocó una de las más profundas crisis de la historia de la ciencia que, sin embargo, como en las otras crisis que hemos considerado, acabaría generando un impresionante crecimiento, la construcción de un nuevo paradigma científico que iba a permitir una mejor comprensión de la materia y del cosmos en general. Una revolución que, apoyándose en la respuesta a nuevas preguntas, al desarrollo y profundización del electromagnetismo, a la interpretación de fenómenos como los rayos X, la radiactividad, etc., condujo a la formulación por Albert Einstein de la Teoría Especial y la Teoría General de la Relatividad, que dieron un vuelco a nuestras ideas de espacio y tiempo, y a la Mecánica Cuántica, que contribuyó a cambiar por completo nuestra comprensión de la naturaleza de la materia y la radiación, desarrollada por De Broglie, Heisenberg, Schrödinger y muchos otros a partir de las contribuciones de Planck. Una nueva revolución científica que no sólo permitió dar respuesta a los problemas planteados, sino que dio lugar a nuevos desarrollos científicos en la física, en campos como la cosmología, la química, con la explicación del enlace, la biología molecular, etc., con notables repercusiones en el campo de la ética, la filosofía e incluso el arte (Gil-Pérez y Solbes, 1993). Una vez más nos encontramos con una revolución no sólo científica, sino sobre todo de gran dimensión social.

Nos hemos referido a algunas de las revoluciones más notables de los diferentes campos de la ciencia, pero existen muchos otros ejemplos de momentos que podemos considerar cumbres en la historia del pensamiento científico, que marcan discontinuidades en la evolución de los conocimientos, como podría ser el hundimiento de la teoría del calórico y consiguiente integración de la mecánica y el calor, aunque ello no generara tan fuertes oposiciones como en el caso de la mayor parte de los ejemplos anteriores. O las investigaciones sobre la putrefacción y la fermentación, tratadas como fenómenos "espontáneos", que condujeron a la incorporación de las teorías microbianas sobre las infecciones, relacionadas con Pasteur, Koch y tantos otros que, frente a la superstición, mostraron que las enfermedades infecciosas eran la consecuencia de una causa externa, microbio o sustancia tóxica. O la idea de gen y las repercusiones de las leyes de Mendel, a partir de las que la genética pasó a ser uno de los campos más importantes de la

investigación biológica, rompiendo definitivamente con ideas anteriores y abriendo camino a grandes avances en la comprensión de la vida y la evolución, etc., con grandes repercusiones en todos los ámbitos, como las generadas por la ingeniería genética, los proyectos "genoma", las terapias génicas, las biotecnologías, etc. (Holton y Roller, 1963; Mason, 1985; Serres, 1991; Gil-Pérez, 1981 y 1993; Quintanilla y Sánchez Ron, 1997; Sánchez Ron, 1999; Solbes, 2002).

Como hemos visto, algunos de los ejemplos propuestos de revolución científica están asociados al establecimiento de vinculaciones entre dominios considerados autónomos, lo que constituye otra de las posibles implicaciones de los esfuerzos de recapitulación a los que es preciso referirse con cierta atención.

LA INTEGRACIÓN DE DOMINIOS APARENTEMENTE INCONEXOS

Ya hemos hecho referencia a cómo el hundimiento de la teoría del calórico está asociado a la integración de la mecánica y el calor. Se daba respuesta así a la dificultad que suponía que una sustancia, el calórico, pudiera ser "extraída" de los cuerpos por fricción o mediante golpes de manera indefinida, sin que se agotara jamás, y se hacía posible entender por qué la energía mecánica de un sistema parecía desaparecer mucho más rápidamente cuanto mayor era la fricción. De este modo, se hizo posible el establecimiento del principio de conservación de la energía y el impresionante desarrollo tecnocientífico de la termodinámica. También el paso del geocentrismo al heliocentrismo está asociado a la fusión de dos campos de conocimiento aparentemente inconexos, aunque esta fusión sea raramente resaltada y su comprensión merezca reflexión y precise el recurso a la historia de la ciencia.

Propuesta de trabajo

¿Qué dos campos del conocimiento quedan integrados a partir del modelo heliocéntrico?

El modelo geocéntrico suponía bastante más que aceptar el hecho, aparentemente confirmado por las observaciones más simples, de que la Tierra estaba en reposo en el centro del universo con todos los astros girando *indefinidamente* en torno a la misma. El modelo distinguía drásticamente entre el "mundo sublunar", mundo de lo imperfecto, de la generación y la corrupción, donde todo objeto tiende al reposo y los movimientos son necesariamente forzados, con principio y fin, como todos los fenómenos terrestres, y el mundo supralunar, mundo de lo perfecto, de lo incorruptible, donde todos los cuerpos son esferas perfectas y se mueven eternamente con movimientos circulares uniformes. Todo separaba y diferenciaba el mundo terrestre y el celeste. Pero con el modelo heliocéntrico, la Tierra pasa a ser un planeta más. La completa fusión de ambos campos vendría con la Teoría de la Gravitación *Universal*, que explica del mismo modo la caída de un cuerpo y el giro de la Luna alrededor de la Tierra o de la Tierra alrededor del Sol. Puede decirse que con la Teoría Heliocéntrica y todo el desarrollo de la mecánica tiene lugar la primera gran integración entre campos considerados esencialmente inconexos. Con otras palabras, el heliocentrismo viene a derribar la primera gran barrera establecida por el pensamiento humano: la que separaba drásticamente cielo y tierra.

Es posible asociar algunos de los grandes avances de la ciencia y de todo el pensamiento humanos al derribo de supuestas barreras –a veces defendidas como auténticos dogmas de fe– entre distintos campos del conocimiento.

Propuesta de trabajo

¿Qué otras barreras entre distintos campos del conocimiento ha derribado el desarrollo científico?

Ya nos hemos referido a lo que supuso la Teoría de la Evolución, que vino a derribar la supuesta barrera entre los seres humanos y el resto de las especies y generó gran controversia que en parte aún persiste, puesto que venía a mostrar que los humanos no somos seres especiales de la Creación, sino que hemos evolucionado de acuerdo a principios que son los mismos para el resto de los seres vivos.

También hemos señalado el hundimiento de la Teoría Vitalista, según la cual una barrera separaba los seres vivos de los inanimados. La vida era un fenómeno especial que no obedecía a las leyes que se aplicaban a los objetos inanimados. Se precisaba una fuerza vital, no sometida a las leyes físico-químicas, para convertir la materia inorgánica en orgánica, relacionada con la vida. Era, pues, absolutamente imposible sintetizar una sustancia orgánica a partir de productos inorgánicos. Una barrera que se mantuvo en los textos universitarios de química hasta finales del siglo XIX y que ha sido trasladada por algunos a la imposibilidad de obtener alguna forma de vida por procedimientos físico-químicos. Pero, como ya señalamos, algunos dudaron de esa supuesta "barrera infranqueable" entre el mundo orgánico y el inorgánico, y consiguieron sintetizar compuestos orgánicos sencillos, dando lugar a una potente línea de investigación y desarrollo que se ha traducido en la síntesis de todas las sustancias orgánicas conocidas y en la creación de otras muchas no existentes en la naturaleza, pero con enormes repercusiones en nuestras condiciones de vida. Se pone así de manifiesto, una vez más, el papel del debate y del cuestionamiento de los dogmas y "evidencias" en la evolución de las ciencias.

Las integraciones entre distintos campos constituyen, sin duda, momentos álgidos del desarrollo científico, a menudo asociados a auténticas revoluciones, es decir, al hundimiento de las teorías vigentes y al surgimiento de nuevos cuerpos de conocimientos. Esta importancia de las visiones unitarias ha llevado a algunos a criticar los planteamientos analíticos, del trabajo científico, que se traducen, afirman, en visiones "parcializadas", que vienen a romper la unidad de la materia.

Propuesta de trabajo

¿Hasta qué punto las estrategias científicas son responsables de visiones parcializadas, inconexas, de la realidad?

Cabe recordar, para empezar, que una característica esencial de una aproximación científica es la voluntad explícita de simplificación y de control riguroso en condiciones preestablecidas, lo que introduce elementos de simplificación artificial indudables, que

no deben ser ignorados ni ocultados. Los científicos *deciden* abordar problemas resolubles y comienzan, para ello, *ignorando* consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas, lo que evidentemente les "aleja" de la realidad; y continúan alejándose mediante lo que, sin duda, hay que considerar la esencia del trabajo científico: la *invención* de hipótesis, la construcción de modelos *imaginarios*... El trabajo científico exige, pues, tratamientos analíticos, simplificatorios, artificiales. Pero ello no supone, como a veces se critica, incurrir necesariamente en visiones parcializadas y simplistas: en la medida en que se trata de análisis y simplificaciones conscientes, se tiene presente la necesidad de síntesis y de estudios de complejidad creciente. Pensemos, por ejemplo, que el establecimiento de la unidad de la materia –que constituye un claro apoyo a una visión global, no parcializada– es una de las conquistas mayores del desarrollo científico de los últimos siglos: los principios de conservación *y transformación* de la materia y de la energía fueron establecidos, respectivamente, en los siglos XVIII y XIX, y fue sólo a fines del XIX cuando se produjo la fusión de tres dominios aparentemente autónomos -electricidad, óptica y magnetismo- en la teoría electromagnética, abriendo un enorme campo de aplicaciones que sigue revolucionando nuestra vida diaria.

La historia del pensamiento científico es una constante confirmación de que los avances tienen lugar *profundizando* en el conocimiento de la realidad en campos definidos, acotados; es esta profundización la que permite llegar a establecer, en *recapitulaciones* posteriores, lazos entre campos aparentemente desligados (Gil-Pérez et al., 1991). Y no hay que olvidar que la idea de unidad no es algo aceptado de entrada, sino que los procesos de unificación han exigido, a menudo, actitudes críticas nada cómodas, que han tenido que vencer fuertes resistencias ideológicas e incluso persecuciones y condenas, como en los casos, bien conocidos, a los que nos venimos refiriendo, del heliocentrismo o del evolucionismo. Esta tremenda oposición social constituye un ejemplo paradigmático de otra de las funciones de las recapitulaciones a la que nos referiremos ahora.

LA RECONSIDERACIÓN DE LAS IMPLICACIONES CTSA

Hablamos de *reconsideración* de las relaciones CTSA (ciencia-tecnología-sociedad-ambiente) porque estas relaciones deben ser contempladas desde el inicio mismo de la investigación, como expusimos detalladamente en el capítulo 3. Pero, lógicamente, tras avanzar en el estudio de la problemática abordada es posible y necesario analizar con mayor profundidad dichas relaciones, viendo las *nuevas* implicaciones del estudio realizado. A título de ejemplo podemos analizar dichas implicaciones para el caso que venimos considerando del establecimiento del modelo heliocéntrico.

Propuesta de trabajo

¿Qué implicaciones CTSA podemos atribuir al establecimiento del modelo heliocéntrico?

Ya nos hemos referido a algunas de estas implicaciones, como la búsqueda de una mejora en las predicciones astronómicas, algo fundamental para los grandes viajes, lejos de las costas, que tienen lugar en el siglo XV y siguientes, que está en buena medida en el origen del nuevo impulso dado a las investigaciones astronómicas.

También nos hemos referido a las barreras ideológicas a aceptar el movimiento de la Tierra, lo que constituye un ejemplo del papel subversivo del desarrollo científico, en el mejor sentido del término, de cuestionamiento de dogmas y barreras a la libertad de pensamiento. Esto es algo que encontramos en otros ejemplos mencionados, como el evolucionismo o la síntesis orgánica, y que justifica las palabras del gran científico francés Langevin (1926), a las que ya hicimos referencia en el capítulo 1: "En reconocimiento del papel jugado por la ciencia en la liberación de los espíritus y la confirmación de los derechos del hombre, el movimiento revolucionario hace un esfuerzo considerable para introducir la enseñanza de las ciencias en la cultura general y conformar esas humanidades modernas que aún no hemos logrado establecer". Algo que la educación científica, en general, parece haber olvidado, en la medida misma que no se contemplan estas relaciones CTSA y se practica un empobrecedor reduccionismo conceptual.

Podría pensarse, por otra parte, que la A de ambiente que aparece en la expresión CTSA está de sobra para el caso del heliocentrismo. En primer lugar, porque en la época de Copérnico o incluso en la de Newton, la atención a las consecuencias ambientales ni siquiera era imaginada. Y en segundo, lugar porque obviamente los estudios astronómicos no podían traducirse en acciones que afectaran al espacio exterior. Pero una breve consideración de la historia de esa etapa nos permite constatar que sí contribuyeron a acciones transformadoras en la Tierra, en la medida que facilitaron los grandes "descubrimientos" y con ellos la primera gran globalización y las transformaciones sociales y del medio físico que provocó en prácticamente todo el planeta. Y si extendemos la consideración de las implicaciones hasta nuestros días, nos encontramos con consecuencias aún mayores, como, por ejemplo, las posibilitadas por los satélites artificiales como elemento esencial de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que han modificado en profundidad la vida sobre la Tierra, haciendo posible la transmisión prácticamente instantánea de información o transacciones económicas, la predicción de los fenómenos atmosféricos, el estudio de la evolución de los ecosistemas, la detección de incendios, etc.

Por supuesto, todas estas implicaciones no derivan exclusivamente de los desarrollos tecnocientíficos, pero es indudable que han contribuido notablemente a las transformaciones sociales señaladas. Lo mismo puede decirse de, por ejemplo, las consecuencias de la síntesis electromagnética, que dio pie a las extraordinarias aplicaciones que suponen los rayos X, las ondas de la radio y la TV, los láseres, etc.

Por otra parte, contemplar las relaciones CTSA en la educación científica debe conducir también a prestar la debida atención al papel de la tecnología en el desarrollo tecnocientífico (Solbes y Vilches, 1997; Maiztegui et al., 2002), teniendo en cuenta sus complejas interacciones, en la actualidad y a lo largo de la historia, incorporando actividades prácticas de **diseño y elaboración de productos**, lo que contribuye a romper con planteamientos excesivamente escolares y reforzar, así, el interés por la tarea.

En el mismo sentido de ir más allá de los habituales tratamientos escolares es posible **recurrir a las aportaciones de la educación no reglada** (museos, prensa, cine y TV...), a la que es necesario prestar alguna atención.

Propuesta de trabajo

¿Cuál debe ser el papel de la educación no formal (no reglada) en la enseñanza de las ciencias?

Desde hace ya algunas décadas, los profesores de ciencias estamos siendo llamados a abrir la escuela hacia el exterior y a organizar visitas a museos, exposiciones temporales, centros en los que se ofrecen talleres de prácticas científicas, a la vez que se potencia el uso de diferentes medios de comunicación: noticias de actualidad relacionadas con desarrollos científicos y tecnológicos y sus implicaciones, páginas científicas de la prensa diaria, revistas, libros de divulgación, documentales cinematográficos, programas informáticos, etc. (González, Gil-Pérez y Vilches, 2002). La creciente importancia concedida a la educación científica no formal es puesta de manifiesto por la gran cantidad de investigaciones que sobre ella se realizan, así como por la publicación de monográficos en revistas didácticas (*Aster* nº 29, 1999; *Alambique* nº 25, 2000).

Algunas aportaciones han señalado ciertas limitaciones de la educación no formal, en el caso de los museos, exposiciones y documentales. Así, Scrive (1989) ha mostrado que, desgraciadamente, las imágenes tan profusamente utilizadas en las exposiciones y en los documentales cinematográficos no tienen el poder educativo esperado en lo que se refiere al aprendizaje conceptual. Pero el resultado cambia, afirma Scrive, cuando esas imágenes se centran en las interacciones ciencia-tecnología-sociedad (CTS): "El cine y la ciencia pueden encontrar un lenguaje común si la ciencia se sitúa en su contexto social y filosófico. Entonces el cineasta puede expresarse a través de una ciencia rica en aventuras y poesía, y plena de incertidumbres. Así, los filmes científicos resultarán atractivos e instructivos". En el mismo sentido, Allard (1999) sostiene que el aprendizaje en un museo no se limita al plano cognitivo, sino que incluye también aspectos afectivos, estéticos, etc. Todo apunta, pues, a que la educación no formal se centra, más que en lograr un aprendizaje conceptual, en despertar el interés por la ciencia, las ganas de aprender ciencia. De ahí que la dimensión CTSA se convierta en un elemento esencial de la misma. Es por eso que las exposiciones científicas se centran, cada vez más, en las interacciones CTSA (Girault, 1999) y, muy en particular, en los problemas medioambientales (Fortín-Debart, 1999).

En ese sentido, como ya señalábamos en el capítulo 1, desde hace años se viene reclamando la necesidad de que la educación, toda la educación, incluida la no formal, preste una atención especial a la preparación de los ciudadanos y ciudadanas para hacer frente a la situación de crisis planetaria que estamos viviendo (Naciones Unidas, 1992; Gil-Pérez et al., 2003). Sin embargo, como han puesto de manifiesto algunos trabajos (Gil-Pérez, Vilches y González, 2002; González, Gil-Pérez y Vilches, 2002), los museos y las grandes exposiciones están lejos de prestar una atención adecuada a los problemas globales del planeta y suelen ser exponentes propagandísticos de los avances científicos y tecnológicos, transmitiendo visiones de un optimismo simplista. Se sigue, pues, lejos del cambio de paradigma que se viene reclamando (Pedretti, 2002), para que los museos, más que mostrar las adquisiciones de la ciencia y la tecnología, presten mayor atención al hoy y al mañana (Koster, 1999), facilitando la reflexión sobre los problemas de la humanidad y la forma de hacerles frente, como elementos imprescindibles para la educación de la ciudadanía y su preparación para la toma de decisiones.

Bastantes de estas implicaciones CTSA nos remiten a algo que resulta fundamental contemplar en las recapitulaciones: las perspectivas abiertas por los estudios realizados y la necesaria toma de decisiones acerca de la conveniencia o no de implicarse en determinados desarrollos tecnocientíficos. A continuación abordaremos más detenidamente estos aspectos.

LA CONTEMPLACIÓN DE LAS PERSPECTIVAS ABIERTAS Y LA TOMA DE DECISIONES AL RESPECTO

Como se dice metafóricamente, una investigación fructífera genera más problemas que resuelve, y ello ha de ser vivido por los alumnos como algo enriquecedor y que contribuye a evitar cualquier impresión de ciencia acabada. Esto permite, además, conectar lo que se está trabajando con los capítulos o temas siguientes, que han de ser presentados, lógicamente, como derivación del que se acaba de estudiar, es decir, como tratamiento de alguna de las perspectivas abiertas (mientras otras pueden ser abordadas en cursos siguientes o incluso remitir a estudios actuales que aún no forman parte del currículo).

Merece la pena que nos detengamos en plantear las perspectivas abiertas, a modo de ejemplo, de algunos de los problemas a los que nos hemos referido en este capítulo.

Propuesta de trabajo

Consideremos las perspectivas que se abren, tanto teóricas como prácticas, con el hundimiento de la Teoría Vitalista.

De las primeras síntesis de compuestos sencillos se pasó a la de sustancias cada vez más complejas, y poco a poco las síntesis de los compuestos orgánicos se generalizaron y condujeron a la obtención en el laboratorio tanto de sustancias "naturales", es decir, ya existentes en la naturaleza, como de otras previamente inexistentes pero cuya composición o características podían ser de interés, dando lugar a un enorme desarrollo de esta rama de la química.

No podemos olvidar lo que ha supuesto dicho desarrollo para la vida actual, desde las vitaminas a los plásticos, pasando por las fibras artificiales, los tintes, los plaguicidas y la casi totalidad de los medicamentos, así como las implicaciones que todos estos procesos han tenido en los nuevos materiales, a la vez que han permitido un mejor conocimiento de la estructura molecular y, en general, de la materia. Actualmente se conocen más de un millón de compuestos orgánicos, entre los que ya existían en la naturaleza y los que se sintetizaron por primera vez en un laboratorio.

Es necesario tener también presente, sin embargo, las repercusiones negativas de algunas de dichas sustancias para el medio ambiente, incluidos los seres vivos, como los denominados COP (contaminantes orgánicos persistentes), que incluyen insecticidas, fungicidas, algunos plásticos y compuestos organoclorados en general. Podemos recordar a ese respecto la tragedia de Seveso, debido a la acumulación de dioxina (uno de esos contaminantes COP, altamente tóxico) procedente de la purificación de un herbicida (el mismo con el que la aviación norteamericana destrozó bosques de Vietnam) que se fabricaba en una planta industrial de dicha población. Se produjo una explosión que tuvo

gravísimas consecuencias para los seres vivos de la zona y sus proximidades. Ya nos referimos en el capítulo 1, al hablar de la importancia de la alfabetización científica como requisito para la toma de decisiones fundamentadas, a un peligroso pesticida clorado, el DDT. Las consecuencias del uso de dicha sustancia fueron mostradas por la zoóloga estadounidense Rachel Carson en su hermoso libro *Silent Spring* (Carson, 1980), que jugó un significativo papel, junto con las protestas ciudadanas, en la posterior prohibición de dicha sustancia, tras vencer las mayores resistencias por parte de sectores industriales e incluso científicos.

Y es necesario volver a insistir aquí en que las preocupaciones en torno a la utilización de estos compuestos no cuestionan el desarrollo de la investigación en este ni en ningún otro campo, pero sí se oponen a la aplicación precipitada, que persigue beneficios particulares y sin suficientes garantías, de los nuevos productos obtenidos (Vilches y Gil-Pérez, 2003). Y todo ello remite a la necesidad de la participación ciudadana en la toma de decisiones como garantía de aplicación del principio de precaución.

A este respecto puede ser conveniente, y resulta normalmente muy motivador y atractivo para los estudiantes, realizar debates en torno a polémicas de actualidad que tienen lugar en la sociedad sobre los temas estudiados. Dichos debates resultan muy fructíferos cuando en pequeños grupos los estudiantes preparan las diferentes posiciones, que representan a los "actores" implicados en la situación problemática, a modo de simulación del proceso de toma de decisiones, y exponen en clase los diferentes argumentos. Por ejemplo, en torno a las síntesis orgánicas, que acabamos de comentar; o a las repercusiones de los desarrollos de la electrónica y las comunicaciones; o el problema de la contaminación acústica y sus secuelas; o el de los organismos manipulados genéticamente (GMO), etc. Pero hablar de debates, intercambios y tomas de decisiones nos conduce a abordar un último aspecto esencial relacionado con las tareas de recapitulación: la comunicación del trabajo realizado.

LA COMUNICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

También la comunicación es algo que está presente desde el origen mismo de una investigación, con el acceso a la información acumulada (pensemos en el recurso de Copérnico a la historia de los modelos astronómicos, etc.), el intercambio entre investigadores, etc. Pero hay momentos en que es necesario y conveniente comunicar de manera más cuidadosa y pública el trabajo realizado, sus conclusiones (por provisionales que éstas sean) y sus perspectivas. Conviene, pues, plantearse el papel de la comunicación en las recapitulaciones, formas de comunicación que se deberían potenciar, etc.

Propuesta de trabajo

Consideremos el papel de la comunicación del trabajo realizado.

¿De qué formas se podría realizar?

Es importante que los estudiantes sepan que los científicos dedican una gran parte de su trabajo a la comunicación: escribir, presentar comunicaciones en congresos... y, sobre todo, leer. Es necesario señalar, a este respecto, la importancia de asomar a los estudiantes a la historia de la ciencia para reforzar sus construcciones. Como vemos una vez más, la historia y la filosofía de la ciencia pueden y deben jugar un papel esencial en todo el

proceso de enseñanza/aprendizaje (Sánchez Ron, 1988; Matthews, 1991 y 1994; Gil-Pérez, 1993; Solbes y Traver, 1996). De hecho, el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación se apoya, como hemos podido constatar en la casi totalidad de capítulos de este libro, en las contribuciones de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias.

Y es importante igualmente que los estudiantes "vivan" las tensiones y satisfacciones que la comunicación (oral y, sobre todo, escrita) comportan.

Es necesario subrayar la importancia que pueden tener, para apoyar todo trabajo científico, las lecturas y comentarios de textos vinculados a la problemática estudiada, la elaboración por los propios estudiantes de memorias científicas, gráficos, esquemas, mapas conceptuales, etc., que recojan a modo de síntesis el trabajo realizado, sin olvidar las repercusiones, la relación con otros campos, las perspectivas abiertas, etc.

Pero comunicar no se reduce a la lectoescritura. Es conveniente extender esta comunicación a otro tipo de productos (prototipos elaborados, etc.), lo que nos remite de nuevo a la educación no reglada y a las visitas a (pero también preparación de) exposiciones, etc.

A MODO DE RECAPITULACIÓN

A modo de recapitulación, valga la redundancia, de este capítulo dedicado precisamente a las recapitulaciones y perspectivas, insistiremos en la necesidad de dar toda su importancia a estas actividades, que conviene realizar cada vez que se precise reorientar el trabajo en curso, pero que, lógicamente, adquieren un papel relevante al terminar un estudio, antes de comenzar otro. En particular, conviene destacar que constituyen ocasiones privilegiadas de enriquecer el aprendizaje *y de contribuir a superar los habituales reduccionismos y deformaciones de la naturaleza de la ciencia*. A tal fin incluimos a continuación una última propuesta de trabajo.

Propuesta de trabajo

Consideremos de qué forma las actividades de recapitulación permiten salir al paso de las distintas visiones deformadas de la actividad científica y tecnológica.

Podemos señalar, resumidamente, que estas actividades de recapitulación permiten cuestionar, de forma reiterada, las visiones deformadas de la ciencia que analizamos en el capítulo 2. Por ejemplo, salimos al paso de una visión rígida al plantear la remodelación del proceso de investigación. La visión exclusivamente analítica se ve contrarrestada al considerar la integración de dominios aparentemente inconexos, la superación de las supuestas barreras entre distintos campos. Cuestionamos la visión acumulativa, de crecimiento lineal de los conocimientos científicos, al abordar las grandes revoluciones científicas Y, por citar otro ejemplo, contribuimos a superar la visión descontextualizada, al considerar las controvertidas relaciones CTSA y tener en cuenta la toma de decisiones, al proponer la elaboración y diseño de productos, al contemplar las perspectivas abiertas, etc.

Terminaremos este capítulo resaltando que uno de los objetivos básicos de las actividades que aquí se proponen ha de ser contribuir a algo fundamental: mostrar el carácter de aventura apasionante *del pensamiento y de la acción* que la actividad científica posee.

Pero el desarrollo del modelo de aprendizaje como investigación que estamos realizando no puede darse por completo sin considerar el papel de la evaluación, que abordaremos a continuación. Debemos puntualizar que el haber dejado este tema para el último lugar no responde a su habitual planteamiento *después* de la enseñanza, error que discutiremos detenidamente, sino a la necesidad de que la evaluación tenga presente el conjunto de aspectos contemplados, desde el planteamiento de los problemas hasta la recapitulación y consideración de las perspectivas abiertas.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado originalmente para este libro.

Referencias bibliográficas en este capítulo

ALLARD, M. (1999). Le partenariat école-musée: quelques pistes de réflexion. *Aster*, 29, 27-40.

CARSON, R. (1980). *Primavera silenciosa*. Barcelona: Grijalbo.

FORTÍN-DEBART, C. (1999). Analyse de l'offre des institutions muséals en médiation environnementale. *Aster*, 29, 85-100.

GIL-PÉREZ, D. (1981). *Evolución de la idea de materia*. Valencia: ICE Universitat de Valencia.

GIL-PÉREZ, D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje de las ciencias como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

GIL-PÉREZ, D. y SOLBES, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-260.

GIL- PÉREZ, D., VILCHES, A., EDWARDS, M., PRAIA, J., MARQUES, L. y OLIVEIRA, T. (2003). A proposal to enrich teachers' perception of the state of the world. First results. *Environmental Education Research*, 9(1), 67-90.

GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A. y GONZÁLEZ, M. (2002). Otro mundo es posible: de la emergencia planetaria a la sociedad sostenible. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 16, 57-81.

GIRAULT, Y. (1999). L' école et ses partenaires scientifiques. *Aster*, 29, 3-8.

GONZÁLEZ, M., GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2002). Los museos de ciencias como instrumentos de reflexión sobre los problemas del planeta. *TEA. Tecne, Episteme y Didaxis*, 12, 98-112.

HOLTON, G. y ROLLER, D. (1963). *Fundamentos de la Física Moderna*. Barcelona: Reverté.

KOSTER, E. H. (1999). In search of relevance: Science centers as innovators in the evolution of museums, *Daedalus,* 28(3), 277-296.

KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

LANGEVIN, P. (1926). La valeur éducative de l'histoire des sciences. *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 22, décembre 1926.

MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL-PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS MARTÍ, A., GUISASOLA, J., LÓPEZ CEREZO J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.

MASON, S. F. (1985). *Historia de las ciencias*. Volumen 5. Madrid: Alianza.

MATTHEWS, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación,* 11-12, 141-155.

MATTHEWS, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*. 12(2), 255-277.

NACIONES UNIDAS (1992). *UN Conference on Environment and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles.* Paris: UNESCO.

PEDRETTI, E. (2002). T. Kuhn Meets T. Rex: Critical Conversations and New Directions in Science Centres and Science Museums. *Studies in Science Education*, 37, 1-42.

QUINTANILLA, M. A. y SÁNCHEZ RON, J. M. (1997). *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Madrid: Santillana.

SÁNCHEZ RON, J. M. (1988). Usos y abusos de la historia de la ciencia en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*. 6(2), 179-188.

SÁNCHEZ RON, J. M. (1999). *Como al león por sus garras.* Madrid: Debate.

SCRIVE, M. (1989). Le film d'exposition scientifique, un choc entre deux cultures. *Aster*, 9, 69-83.

SERRES, M. (1991). *Historia de las Ciencias.* Madrid: Cátedra.

SOLBES, J. (2002). *Les empremtes de la Ciència. Ciència, Tecnologia, Societat : Unes relacions controvertides.* Valencia: Germania.

SOLBES, J. y TRAVER, M. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 103-112.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of physics and chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.

Capítulo 8

¿Para qué y cómo evaluar?

La evaluación como instrumento de regulación Y mejora del proceso de enseñanza/aprendizaje

Daniel Gil Pérez y Joaquín Martínez Torregrosa

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Cuáles pueden ser las ideas, comportamientos o actitudes que los profesores de ciencias podemos haber adquirido por simple impregnación ambiental acerca de la evaluación y que convenga analizar críticamente?
- ¿Qué aspectos de la actividad de los estudiantes deben ser evaluados?
- ¿Qué consecuencias suele conllevar la identificación de la evaluación con la mera calificación?
- ¿Cuáles habrían de ser las funciones de la evaluación?
- ¿Qué características ha de poseer la evaluación para que favorezca el aprendizaje?
- ¿Qué preguntas convendría que nos planteáramos en torno a la evaluación de la enseñanza y el currículo?

EXPRESIONES CLAVE

Influencia de la evaluación en el proceso de enseñanza/aprendizaje; funciones de la evaluación como instrumento de aprendizaje; expectativas de docentes y estudiantes; participación de los estudiantes en la regulación del aprendizaje.

INTRODUCCIÓN

Quizás debamos comenzar planteándonos si merece la pena dedicar mucha atención a esta cuestión de la evaluación. ¿Acaso la evaluación no constituye un aspecto, sin duda necesario, pero rutinario y poco atractivo, en el que más vale no detenerse demasiado? ¿No sería mejor ocupar ese tiempo en otros aspectos más susceptibles de contribuir a la renovación de la enseñanza? En otras palabras:

Propuesta de trabajo

¿Puede considerarse útil dedicar parte del escaso tiempo de que disponemos los profesores a tratar la cuestión de la evaluación?

Conviene detenerse en justificar el interés de esta actividad. En primer lugar, porque no tiene sentido acometer una tarea sin haber reflexionado mínimamente acerca de su relevancia (algo que, desgraciadamente, olvidamos muy a menudo en el trabajo con los estudiantes). Pero, además, porque la atención dada a la evaluación *desde la didáctica de las ciencias* ha sido realmente escasa hasta muy recientemente. Como señala Tamir (1998), en el *International Handbook of Science Education*, si dicho Handbook se hubiera publicado diez años antes, no hubiera contenido una sección dedicada a la evaluación. La situación ha comenzado a cambiar desde finales de los años ochenta y hoy la evaluación constituye una línea de investigación prioritaria en didáctica de las ciencias. ¿A qué se debe este creciente interés? La reflexión de los profesores, cuando se nos plantea una cuestión como ésta, nos lleva a considerar el peso que la evaluación tiene en los estudiantes ("su atención se dirige exclusivamente a lo que puede ser objeto de examen") y en nosotros mismos ("que vemos condicionada nuestra enseñanza por las pruebas externas"), las dificultades para ajustar la evaluación a las innovaciones que intentamos introducir en la enseñanza, las tensiones y enfrentamientos entre profesores y alumnos que suele generar la evaluación, etc.

Cabe señalar que numerosas investigaciones apoyan estas preocupaciones en torno al papel de la evaluación. Podemos así referirnos a que, en los últimos años, hemos asistido a un importante desarrollo de la innovación en la enseñanza de las ciencias, apoyada en investigaciones sistemáticas, que, sin embargo, encuentra dificultades para ser transferido a la práctica docente. Como ha señalado Briscoe (1991), cada año miles de profesores participamos en seminarios o asistimos a cursos con la intención de perfeccionarnos procesionalmente, y cuando reanudamos nuestras clases creemos estar mejor preparados para utilizar las nuevas técnicas, los nuevos materiales curriculares, las nuevas formas de favorecer la creatividad y el aprendizaje de nuestros alumnos. Sin embargo, muchos de nosotros nos encontramos, antes de que podamos darnos cuenta, enseñando de la misma forma como lo habíamos hecho siempre, adaptando los nuevos materiales o técnicas a los patrones tradicionales. Se genera así una lógica frustración y decepción al percibir que las cosas no han funcionado mejor que los años precedentes a pesar de las nuevas y prometedoras ideas.

Este resultado no es debido, en general, a que las innovaciones contempladas en los cursos de formación carezcan de interés, sino que pone en evidencia que un modelo de enseñanza es algo más que un conjunto de elementos dispersos e intercambiables: posee

una cierta coherencia y cada uno de sus elementos viene apoyado por los restantes (Viennot, 1989; Gil-Pérez, 1991). Se ha empezado así a comprender que los esfuerzos de innovación en la enseñanza de las ciencias realizados estas últimas décadas pierden gran parte de su capacidad transformadora si quedan en aportaciones puntuales, desligadas.

Muy en particular, los investigadores han llamado la atención sobre la necesidad de acompañar las innovaciones curriculares de transformaciones similares en la evaluación para contribuir a consolidar el cambio de modelo didáctico que está teniendo lugar (Linn, 1987). Poco importan, en efecto, las innovaciones introducidas o los objetivos enunciados: si la evaluación sigue consistiendo en ejercicios para constatar el grado de retención de algunos conocimientos conceptuales, éste será para los alumnos el verdadero objetivo del aprendizaje.

Pero hay una segunda razón del fracaso de muchos esfuerzos de renovación curricular, que se relaciona también con la evaluación. Como ha mostrado Cronin-Jones (1991), los diseñadores de currículos no suelen tener en cuenta la fuerte influencia de las concepciones de los profesores en el proceso de implementación curricular. Lo mismo ocurre a menudo, en nuestra opinión, en los programas de formación del profesorado. Dicho de otra manera, para emprender un replanteamiento global de la enseñanza de las ciencias se precisa cuestionar preconcepciones docentes cuya importancia en la actividad del profesorado puede ser tan relevante o más que las preconcepciones de los alumnos en el aprendizaje de las ciencias (Hewson y Hewson, 1987). En efecto, como hemos visto en el capítulo 2, comienza hoy a comprenderse que los profesores tenemos ideas, actitudes y comportamientos sobre la ciencia y su enseñanza debidos a una larga formación "ambiental", en particular durante el período en que fuimos alumnos, que ejerce una notable influencia por responder a experiencias reiteradas y adquirirse de forma no reflexiva, como algo natural, obvio, "de sentido común", escapando así a la crítica y convirtiéndose, insistimos, en un verdadero obstáculo. *Y cabe sospechar que la evaluación sea uno de los aspectos de la actividad docente más afectado por estas preconcepciones* (Gil-Pérez et al., 1991; Alonso, Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1992a).

Nos encontramos, pues, con dos poderosas razones para abordar el estudio de la evaluación y, para comenzar, las posibles preconcepciones docentes que pueden estar obstaculizando su renovación. Es preciso tener en cuenta, a este respecto, otra de las causas que suelen dificultar la apropiación de los nuevos conocimientos didácticos por los profesores: nos referimos a la escasa efectividad de transmitir al profesorado las propuestas de los expertos para su mera aplicación. Como ha indicado Briscoe (1991), es necesario que los profesores *participemos en la construcción* de los nuevos conocimientos didácticos abordando los problemas que la enseñanza nos plantea. Es así como podrá tener lugar la transformación de nuestras concepciones espontáneas. Podemos señalar a este respecto que, si bien estas preconcepciones son muy abundantes y constituyen serios obstáculos (en la medida en que son aceptadas acríticamente), no resulta difícil generar una reflexión descondicionadora que ponga en cuestión estas "evidencias" y contribuya al trabajo de profundización que exige su superación, aproximando las concepciones del profesorado a las adquisiciones de la investigación didáctica. Esto es lo que trataremos de mostrar en este capítulo, que será planteado como una investigación dirigida en torno a las concepciones docentes en este campo.

ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS CONCEPCIONES DOCENTES SOBRE LA EVALUACIÓN Y LA PRÁCTICA QUE SE DERIVA

Conviene comenzar planteándonos una reflexión crítica acerca de cuáles son las ideas que los docentes solemos tener en torno a la evaluación, como primer paso de la actividad investigadora que estamos iniciando, para después contrastarlas con las aportadas por la investigación didáctica.

Propuesta de trabajo

Consideremos, a título de hipótesis, posibles preconcepciones que los profesores de ciencias podamos tener acerca de la evaluación y que convenga analizar para no quedar prisioneros de ideas, comportamientos o actitudes incorrectas, asumidas acríticamente.

Nos referiremos seguidamente a las concepciones señaladas en la literatura, de forma que el lector pueda constatar cuáles de ellas conectan con sus intuiciones y vivencias. Se trata de un conjunto de ideas, comportamientos y actitudes interrelacionados que se apoyan mutuamente entre sí y que podemos resumir en cinco apartados:

- La idea de que resulta fácil evaluar las materias de ciencias con objetividad y precisión, debido precisamente a la naturaleza misma de los conocimientos evaluados.
- La tendencia a limitar la evaluación a aquello que sea más fácilmente medible, evitando todo lo que pueda dar lugar a respuestas imprecisas. En asociación con la creencia en la objetividad de la evaluación, cabe esperar que se limite la práctica evaluadora a lo aparentemente "más objetivo", es decir, a los conocimientos fácticos, a las leyes a través de ejercicios cerrados o de respuesta unívoca en los que no quepa la ambigüedad.
- La concepción elitista y determinista del aprendizaje de las ciencias, que supone que estas materias no están al alcance de todos y, en consecuencia, que una evaluación bien planteada pondrá de manifiesto el fracaso "inevitable" de un porcentaje importante de alumnos y discriminará a los "buenos" alumnos y a los "mediocres".
- Muy relacionada con la anterior, la tendencia autoexculpatoria, consistente en achacar los altos porcentajes de fracaso en la evaluación a causas externas a la didáctica empleada. Los resultados negativos obtenidos a menudo por porcentajes elevados de alumnos son imputables a los propios alumnos o a la enseñanza precedente.
- Finalmente, a modo de síntesis de las ideas y comportamientos anteriores, la tendencia a convertir la evaluación en un instrumento de mera constatación, de simple calificación. Ello subyace, insistimos, en las ideas anteriores, pero tiene también sus implicaciones específicas (evaluación terminal, carácter de obstáculo a superar, actuación del profesor como "juez" y "policía"...).

La existencia de estas concepciones y su naturaleza de obstáculo constituye una conjetura (apoyada, sin duda, por la reflexión crítica de lo que solemos o hemos visto hacer, por la coincidencia de distintos autores en denunciarlas, etc.) que debe ser sometida a un cuidadoso análisis, para estimar en qué medida dichas preconcepciones están extendidas

y para poner a prueba su validez. Se trata, pues, de continuar la investigación de las distintas concepciones conjeturadas.

Propuesta de trabajo

Cabe suponer, a título de hipótesis, que los profesores de ciencias podemos pensar que "resulta fácil evaluar las materias científicas con objetividad y precisión, dada la naturaleza misma de los conocimientos evaluados". ¿En qué nos apoyamos para señalar esa suposición?

Esta actividad pretende facilitar una aproximación cualitativa a prácticas de evaluación que pongan en evidencia la creencia común de que "resulta fácil evaluar las materias científicas con objetividad y precisión, dada la naturaleza misma de los conocimientos evaluados". Podemos referirnos a hechos como la seguridad con que muchos profesores atribuyen calificaciones numéricas con decimales, tipo 4,75 (¡como si todo lo que sabemos acerca de la imprecisión de los resultados no fuera válido en el caso de la evaluación!) y a la resistencia que solemos ofrecer los profesores a modificar dichas calificaciones (como si realmente nuestra seguridad fuera absoluta). Pero estos indicios han de dejar paso a auténticos diseños experimentales para someter a prueba nuestras hipótesis.

Propuesta de trabajo

Concibamos algunos diseños experimentales para poner a prueba, de una forma más rigurosa, la supuesta objetividad y precisión de la evaluación del aprendizaje de las materias científicas e indiquemos qué resultados cabe esperar al aplicarlos.

Para poner a prueba la supuesta objetividad y precisión de las evaluaciones, una primera idea que surge habitualmente es dar a corregir un mismo examen a diversos profesores. Éste es un diseño clásico que ya fue utilizado por Hoyat (1962) con ejercicios de física del bachillerato francés. Conviene, pues, valorar positivamente esta propuesta y proporcionar algunos resultados para que procedan a su análisis. Puede recordarse así que Hoyat encontró que un mismo ejercicio de física era calificado con notas que iban de 2 a 8 (¡).

Este diseño se ha utilizado numerosas veces con resultados similares; sin embargo, ello no nos permite concluir que queda probada la falta de objetividad y precisión. En efecto, cabe suponer que estas discrepancias en las notas sean simplemente el fruto de distintos criterios ("hay profesores rigurosos, otros con manga ancha..."). Surge así la idea de este otro diseño: hacer corregir de nuevo el mismo examen, al cabo de un cierto tiempo, a los mismos profesores. También este diseño fue ya utilizado por Hoyat, con resultados que mostraban una fuerte dispersión de las notas dadas por los mismos profesores a los mismos exámenes.

Una variante de este diseño hace innecesario esperar varios meses: se pueden incluir dos o tres copias formalmente distintas (letras diferentes, modificación del orden de respuesta de las preguntas...) de un mismo ejercicio en aquellos casos en que los profesores tienen que corregir un número elevado de exámenes. De nuevo aparece una gran dispersión de las notas dadas a un mismo examen.

Se puede concebir un diseño más sofisticado, destinado a ver cómo influyen las expectativas del profesor, planteando a distintos profesores la valoración de un breve ejercicio pidiéndoles una puntuación entre 0 y 10 y, sobre todo, comentarios que puedan ayudar al alumno a comprender mejor la cuestión planteada. El ejercicio que se entrega para corregir es siempre el mismo, con la "única" diferencia de un pequeño texto introductorio, que en la mitad de las copias atribuye el ejercicio a un alumno "brillante" y en la otra mitad a un alumno "que no va demasiado bien". Este pequeño comentario, sin embargo, provoca diferencias en las medias... ¡del orden de dos puntos! (Alonso, Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1992a).

Una investigación similar, destinada a mostrar el sexismo del profesorado de física, fue realizada por Spear (1984) y consistió en proponer la corrección de un examen a unos 300 profesores de enseñanza secundaria con objeto de que evaluaran toda una serie de aspectos: nivel, precisión científica, capacidad para proseguir estudios científicos, etc. Cada copia del examen fue presentada al 50% de los profesores con la firma de un alumno y al otro con la firma de una alumna. Los resultados mostraron que en cada uno de los 14 aspectos a evaluar el "muchacho" fue calificado por encima de la "muchacha" (¡), con diferencias estadísticamente significativas.

Conviene recordar aquí la célebre experiencia de "Pigmalión a la escuela" (Rosenthal y Jacobson, 1968). En una serie de escuelas se hizo creer a los profesores que un test de inteligencia había detectado que determinados alumnos (elegidos en realidad al azar) tenían un cociente intelectual extraordinario, eran una especie de "diamante en bruto". Dos años después se pudo constatar que los alumnos señalados habían experimentado un desarrollo intelectual muy superior al de sus condiscípulos.

Como vemos, todas estas investigaciones cuestionan la supuesta objetividad y precisión de la evaluación en un doble sentido. Por una parte, muestran hasta qué punto las valoraciones habituales están sometidas a amplísimos márgenes de incertidumbre (aunque algunos profesores acostumbremos a escribir notas como 4.75 y creamos en su validez y precisión) y, por otra, dichas investigaciones hacen ver que la evaluación constituye un instrumento que afecta muy decisivamente a aquello que se pretende medir con ella, es decir, al propio proceso evaluado. Con otras palabras, los profesores no sólo nos equivocamos al calificar (dando, por ejemplo, puntuaciones más bajas en materias como la física a ejercicios que creemos hechos por las chicas), sino que contribuimos a que nuestros prejuicios –los prejuicios, en definitiva, de toda la sociedad– se conviertan en realidad: las chicas acaban teniendo logros inferiores y actitudes más negativas hacia el aprendizaje de la física que los chicos, y los alumnos considerados mediocres terminarán siéndolo. La evaluación resulta ser, más que la medida objetiva y precisa de unos logros, la expresión de unas expectativas en gran medida subjetivas pero con una gran influencia sobre los alumnos y los propios profesores.

Pese a los resultados anteriores, es posible seguir apostando por la objetividad y pensar que la solución está en "evitar evaluar lo que puede dar lugar a respuestas imprecisas que dificulten la necesaria objetividad". Ésta podría ser contemplada, siempre a título de hipótesis, como una nueva concepción estrechamente ligada a la anterior y que conviene analizar también cuidadosamente.

Propuesta de trabajo

¿Cuáles podrían ser las implicaciones de "evitar evaluar lo que puede dar lugar a respuestas imprecisas"?

Si tenemos en cuenta las características de la actividad científica, ampliamente discutidas en el capítulo 2, comprenderemos el peligro de grave reduccionismo que entraña la búsqueda de máxima objetividad. Como señala Hodson (1992), la preocupación obsesiva por evitar la ambigüedad, y asegurar la fiabilidad de las evaluaciones, distorsiona la naturaleza misma del trabajo científico, esencialmente difuso, incierto, intuitivo. La evaluación debería tener en cuenta dicha ambigüedad, no intentar eliminarla. En el mismo sentido se pronuncia Tamir (1998), criticando las "pruebas objetivas". De este modo se produce un cambio fundamental de pregunta: en vez de "¿cómo conseguir que la evaluación sea objetiva?", la cuestión pasa a ser "¿cómo conseguir que la evaluación refleje aquello que se considera importante?", lo que lleva a plantearnos cuáles son los aspectos del aprendizaje de las ciencias que deberían ser evaluados para evitar visiones empobrecidas que dejen de lado características esenciales de la actividad científica.

Propuesta de trabajo

Enumeremos aquellos aspectos de la actividad de los estudiantes que deberían ser evaluados y a los que las pruebas de evaluación ordinarias no suelen prestar la debida atención.

La cuidadosa consideración de aquello que debe ser evaluado resulta esencial, insistimos, para evitar reduccionismos empobrecedores y ha de enfrentarse a tradiciones que sistemáticamente han limitado la evaluación a los aspectos más fáciles de medir. La discusión realizada en el capítulo 2 de la naturaleza del trabajo científico, así como el desarrollo del modelo de aprendizaje como investigación propuesto a lo largo del resto de los capítulos, nos permite romper con dichas tradiciones e incluir toda una pluralidad de aspectos que caracterizan al trabajo científico como una actividad abierta y creativa, tal como se muestra en el **cuadro 1**, planteado como una red para el análisis del contenido de las pruebas de evaluación.

Como puede constatarse, el contenido de este cuadro coincide básicamente con el del cuadro 1 del capítulo 2, que recogía los "aspectos a incluir en un currículo de ciencias para favorecer la construcción de conocimientos científicos". Ello es absolutamente lógico, puesto que todo aquello que merece incluirse en un currículo debe ser evaluado. En caso contrario, los alumnos concluyen rápidamente que los aspectos no evaluados carecen de importancia real. Ahora bien:

Cuadro 1.

Análisis de la presencia de actividades de evaluación coherentes con las estrategias de construcción de conocimientos científicos

1. ¿Se incluyen **situaciones problemáticas abiertas** que permitan a los estudiantes formular preguntas, plantear problemas?

2. ¿Se piden comentarios sobre el posible **interés de las situaciones** propuestas (considerando las posibles implicaciones CTSA, la toma de decisiones, la relación con el resto del programa, etc.)?

3. ¿Se piden **análisis cualitativos**, significativos, que eviten el mero operativismo y ayuden a comprender y acotar las situaciones planteadas?

4. ¿Se pide la **emisión de hipótesis,** fundamentadas en los conocimientos disponibles, susceptibles de orientar el tratamiento de las situaciones y de hacer explícitas, funcionalmente, las preconcepciones?

¿Se plantea, al menos, el manejo o el análisis crítico de alguna hipótesis?

¿Se incluyen actividades que supongan atención a las preconcepciones (contempladas como hipótesis)?

5. ¿Se plantea la **elaboración de estrategias** (en plural), incluyendo, en su caso, diseños experimentales?

¿Se pide, al menos, la evaluación crítica de algún diseño?

¿Se presta atención a la actividad práctica en sí misma (montajes, medidas...), dándole a la dimensión tecnológica el papel que le corresponde en este proceso?

¿Se presta atención, en particular, al manejo de la tecnología actual (ordenadores, electrónica, automatización...), con objeto de favorecer una visión más correcta de la actividad científico-técnica contemporánea?

6. ¿Se piden **análisis detenidos de los resultados** (su interpretación física, fiabilidad, etc.), a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, de las hipótesis manejadas y/o de otros resultados?

¿Se pide, en particular, el análisis de los posibles conflictos cognitivos entre algunos resultados y las concepciones iniciales?

¿Se favorece la "autorregulación" del trabajo de los alumnos (proporcionando, por ejemplo, indicadores que les permitan comprobar si van o no en una dirección correcta?

¿Se incluyen actividades para que los estudiantes cotejen su evolución conceptual y metodológica con la experimentada históricamente por la comunidad científica?

7. ¿Se piden **esfuerzos de integración** que consideren la contribución de los estudios realizados a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos (al afianzamiento o reforzamiento del mismo, a la superación de supuestas barreras...), las posibles implicaciones en otros campos de conocimientos, etc.?

¿Se pide algún trabajo de construcción de síntesis, mapas conceptuales, etc., que ponga en relación conocimientos diversos?

8. ¿Se pide la consideración de posibles **perspectivas** (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados...)?

¿Se incluyen, en particular, actividades relativas a las **implicaciones CTSA** del estudio realizado (posibles aplicaciones, transformaciones sociales, repercusiones negativas...), a la toma de decisiones, saliendo al paso de la concepción que reduce la tecnología a mera *aplicación* de la ciencia?

¿Se incorporan actividades que presten atención a la educación no formal (museos, prensa...)?

¿Se valoran los "productos" elaborados por los estudiantes (prototipos, colecciones de objetos, carteles...), expresión de las estrechas relaciones ciencia-tecnología?

9. ¿Se presta **atención a la comunicación** como aspecto esencial de la actividad científica?

¿Se plantea la elaboración de **memorias científicas** del trabajo realizado?

¿Se pide la lectura y comentario crítico de textos científicos?

¿Se pone en contacto a los estudiantes con la historia de la ciencia?

¿Se presta atención a la verbalización, solicitando comentarios significativos que eviten el "operativismo mudo"?

¿Se hace un seguimiento cuidadoso del dossier de los alumnos como memoria ordenada del trabajo realizado?

10. ¿Se potencia en la evaluación la **dimensión colectiva del trabajo científico** valorando los trabajos realizados en equipo, prestando atención al funcionamiento de los grupos de trabajo, etc.?

¿Se favorece la **interregulación** de los equipos?

¿Se permite (y potencia) el manejo funcional del cuerpo de conocimientos aceptado por la comunidad científica (sin exigir memorizaciones irracionales)? ¿Se presta atención, en ese sentido, a que los prerrequisitos no se conviertan en obstáculo para las tareas propuestas?

Podemos ahora utilizar el contenido del cuadro 1 como red de análisis de las pruebas de evaluación.

Propuesta de trabajo

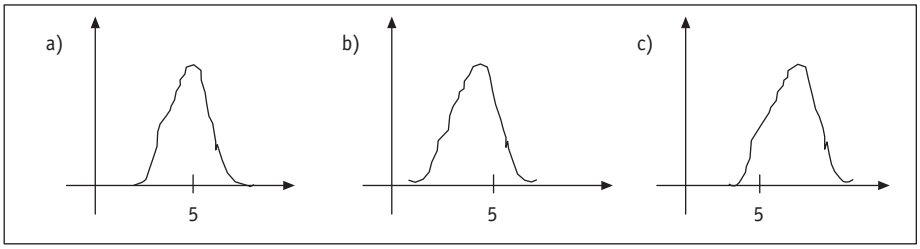
¿En qué medida las pruebas de evaluación habituales suelen contemplar los aspectos fundamentales señalados en el cuadro 1?

Los análisis realizados de los exámenes habituales diseñados por los profesores y de las pruebas externas (como las pruebas de acceso a la universidad) apoyan plenamente la hipótesis de un grave reduccionismo, reforzando la comprensión de que la búsqueda de máxima objetividad y precisión puede derivar (ha derivado) en un peligroso empobrecimiento de la educación científica (Alonso, Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1992b).

Una posible justificación del reduccionismo de las pruebas de evaluación sería el intento de evitar la introducción de aspectos "demasiado complicados". De hecho, una posible concepción a la que nos hemos referido, siempre a título de hipótesis, es que "el fracaso de un número elevado de alumnos es inevitable en materias rigurosas como las ciencias, que no están al alcance de todos". Para analizar la extensión de dicha concepción se ha concebido, entre otros, el diseño que se describe en la siguiente actividad:

Propuesta de trabajo

Se plantea a una serie de profesores la siguiente cuestión: "Las gráficas adjuntas presentan posibles distribuciones de las notas obtenidas en una prueba por los estudiantes de una clase. Señalad cuál de dichas distribuciones es más correcta y por qué". ¿Qué resultados cabe esperar? Es decir, ¿cuál de las opciones a), b), c) puede parecer más correcta a la mayoría de los profesores y qué razones pueden aducir para ello?



Los resultados obtenidos al proponer una actividad como la anterior (Alonso, Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1992a y b) muestran que la mayoría de los profesores optan por las gráficas a o b (aduciendo que "en una clase hay de todo", alumnos listos y torpes, trabajadores o no, etc.), lo que supone que, en el mejor de los casos, se considera correcto un fracaso del 50% de los estudiantes (¡). Si tenemos en cuenta, por otra parte, la influencia de las expectativas del profesor en los resultados de la evaluación y del aprendizaje, se comprende la gravedad de esta predisposición al fracaso generalizado de los estudiantes.

En ocasiones, los resultados negativos obtenidos por porcentajes elevados de estudiantes son imputados también a la enseñanza precedente.

Propuesta de trabajo

En entrevistas realizadas a profesores de facultades de ciencias, la causa de fracaso más mencionada fue "la falta de base de los estudiantes, debida a las insuficiencias de la formación proporcionada en los niveles precedentes". Para apoyar esta tesis, unos profesores universitarios pasaron, el primer día de clase, a los estudiantes que habían ingresado en la Facultad de Química, un sencillo cuestionario con 20 preguntas consideradas muy elementales por los mismos profesores de secundaria. Los resultados fueron realmente decepcionantes, lo que en opinión de los autores del cuestionario, constituía la prueba de la incorrecta preparación proporcionada a dichos estudiantes. Suponiendo que no aceptemos, por demasiado simplista, la interpretación dada a la experiencia descrita en el párrafo anterior, ¿qué diseños podríamos concebir para mostrar lo incorrecto de dicha interpretación?

Un diseño que puede utilizarse para someter a prueba la idea simplista de que el fracaso de los estudiantes universitarios es debido fundamentalmente a la "falta de base" con que llegan de la enseñanza secundaria, consiste en utilizar el mismo cuestionario que se pasó a los estudiantes de primer curso (en su primer día de clase), a estudiantes que llegan a segundo (con una valoración positiva por parte de sus profesores universitarios), también el primer día de clase. Esta experiencia ha sido realizada con estudiantes de las Facultades de Química y de Física (Calatayud, Gil-Pérez y Gimeno, 1992), y los resultados obtenidos muestran una gran similitud entre los niveles de acierto de ambos colectivos (sin diferencias significativas en la generalidad de los ítems), poniendo así en cuestión la tesis simplista que sólo responsabiliza a la enseñanza precedente.

Las concepciones sobre la evaluación que hemos venido contemplando no constituyen, pues, ideas o comportamientos inconexos, sino que están muy relacionadas y proporcionan una idea de la **evaluación como instrumento de constatación y discriminación de los estudiantes,** es decir, como simple calificación.

Propuesta de trabajo

¿Qué consecuencias, además de las ya discutidas, suele conllevar la identificación de la evaluación con la mera calificación?

Podemos referirnos al carácter de obstáculo a superar que adquieren las pruebas (con tiempos rígidamente limitados, clima de tensión, etc.), al papel de juez frío y distante y de policía vigilante que ha de asumir el profesor, a la reducción de las evaluaciones a las pruebas terminales, etc. Resulta bastante fácil señalar algunos indicios que apoyan esta visión de la evaluación, pero no consideramos necesario detenernos más en el análisis crítico de las concepciones docentes "espontáneas" (es decir, asumidas acríticamente por impregnación) acerca de la evaluación. Un análisis crítico que puede sin duda ser profundizado, pero que ha mostrado ya, pensamos, las limitaciones de la práctica evaluativa habitual, haciendo ver la necesidad de un replanteamiento global de la evaluación.

REPLANTEAMIENTO DE LA EVALUACIÓN

Con objeto de romper con las limitaciones que suponen las concepciones espontáneas que acabamos de analizar someramente, conviene proceder a un replanteamiento global de la evaluación que no dé nada por sentado y clarifique todos sus aspectos, comenzando por reflexionar acerca de *para qué* evaluar.

Propuesta de trabajo

Si no se puede aceptar la idea de una evaluación como "juicio absolutamente objetivo" y terminal de la tarea realizada por cada alumno. ¿cuáles habrían de ser las funciones de la evaluación?

El análisis crítico realizado hasta aquí nos ha permitido comprender que carece de sentido una evaluación consistente en el enjuiciamiento "objetivo" y terminal de la labor realizada por cada alumno. Por el contrario, el profesor ha de considerarse corresponsable de los resultados que éstos obtengan: no puede situarse frente a ellos, sino con ellos; su pregunta no puede ser "quién merece una valoración positiva y quién no", sino "qué ayudas precisa cada cual para seguir avanzando y alcanzar los logros deseados". Para ello son necesarios un seguimiento atento y una retroalimentación constante que reoriente e impulse la tarea. Eso es lo que ocurre en los equipos de investigación que funcionan correctamente y eso es lo que tiene sentido también, en nuestra opinión, en una situación de aprendizaje orientada a la construcción de conocimientos, a la investigación. Los estudiantes han de poder cotejar sus producciones con las de otros equipos y –a través del profesor/director de investigaciones– con el resto de la comunidad científica; y han de ver valorado su trabajo y recibir la ayuda necesaria para seguir avanzando, o para rectificar si fuera necesario.

La evaluación se convierte así en un instrumento de aprendizaje, es decir, en una *evaluación formativa,* sustituyendo a los juicios terminales sobre los logros y capacidades

de los estudiantes. Pero, aunque ello representa un indudable progreso, éste resulta insuficiente si no se contempla también como un *instrumento de mejora de la enseñanza*. En efecto, las disfunciones en el proceso de enseñanza/aprendizaje no pueden atribuirse exclusivamente a dificultades de los estudiantes y resultará difícil que los alumnos y alumnas no vean en la evaluación un ejercicio de poder externo (y, por tanto, difícilmente aceptable) si sólo se cuestiona su actividad.

Si realmente se pretende hacer de la evaluación un instrumento de seguimiento y mejora del proceso, es preciso no olvidar que se trata de una actividad colectiva, en la que el papel del profesor y el funcionamiento del centro constituyen factores determinantes. La evaluación ha de permitir, pues, incidir en los comportamientos y actitudes del profesorado. Ello supone que los estudiantes tengan ocasión de discutir aspectos como el ritmo que el profesor imprime al trabajo o la manera de dirigirse a ellos. Y es preciso *evaluar también el propio currículo*, con vistas a ajustarlo a lo que puede ser trabajado con interés y provecho por los alumnos y alumnas. De esta forma, los estudiantes aceptarán mucho mejor la necesidad de la evaluación, que aparecerá realmente como un instrumento de mejora de la actividad colectiva.

Las funciones de la evaluación pueden resumirse, pues, en:

- favorecer el aprendizaje,
- contribuir a la mejora de la enseñanza,
- Incidir en el currículo (ajustarlo a lo que puede ser trabajado con interés y provecho por los y las estudiantes).

Nos centraremos, en primer lugar, en el papel de la evaluación como instrumento de aprendizaje, aunque insistimos en la necesidad de romper con los reduccionismos habituales, extendiendo la evaluación a la actividad del profesorado y al mismo currículo (Imbernon, 1990; Rodríguez, Gutiérrez y Molledo, 1992; Porlán, 1993; Santos, 1993).

La evaluación como instrumento de aprendizaje

Propuesta de trabajo

¿Cuáles habrían de ser las características de la evaluación para que se convierta en un instrumento de aprendizaje?

Conseguir que la evaluación constituya un instrumento de aprendizaje, se convierta en una evaluación formativa, supone dotarla de unas características que rompan con las concepciones de sentido común que hemos analizado someramente en el primer apartado. En particular:

- Una primera característica que ha de poseer la evaluación para jugar un papel orientador e impulsor del trabajo de los estudiantes es que **pueda ser percibida como ayuda real, generadora de expectativas positivas**. El profesor ha de lograr transmitir su interés por el progreso de los alumnos y alumnas y su convencimiento de que un trabajo adecuado terminará produciendo los logros deseados, incluso si inicialmente aparecen dificultades. Conviene para ello realizar una planificación muy cuidadosa de

los inicios del curso, comenzando con un ritmo pausado, revisando los prerequisitos (para que no se conviertan, como a menudo ocurre, en obstáculo), planteando tareas simples, etc.

- Una segunda característica que ha de poseer la evaluación, para que pueda jugar su función de instrumento de aprendizaje, es su **extensión a todos los aspectos –conceptuales, procedimentales y actitudinales– del aprendizaje de las ciencias, rompiendo con su habitual reducción a aquello que supuestamente permite una medida más fácil y rápida**: la rememoración repetitiva de los "conocimientos teóricos" y su aplicación igualmente repetitiva a ejercicios de lápiz y papel. Se trata de ajustar la evaluación –es decir, el seguimiento y la retroalimentación– a las finalidades y prioridades establecidas para el aprendizaje de las ciencias. La evaluación responde así a unos criterios explícitos de logros a alcanzar por los estudiantes (Satterly y Swann, 1988), al contrario de lo que ocurre con la evaluación atendiendo a la "norma", basada en la comparación de los ejercicios para establecer los "mejores", los "peores" y el "término medio", que es la orientación asumida, lamentablemente, por gran parte del profesorado.

Por otra parte, es preciso no olvidar, a la hora de fijar los criterios, que sólo aquello que es evaluado es percibido por los estudiantes como realmente importante. Es preciso, pues, evaluar todo lo que los estudiantes hacen: desde un póster confeccionado en equipo a los dossieres personales del trabajo realizado. Duschl (1995) ha resaltado, en particular, la importancia de estos dossieres o "portafolios", en los que cada estudiante ha de recoger y organizar el conocimiento construido y que pueden convertirse –si el profesor se implica en su revisión y mejora– en un *producto* fundamental, capaz de reforzar y sedimentar el aprendizaje, evitando adquisiciones dispersas.

- Si aceptamos que la cuestión esencial no es averiguar quiénes son capaces de hacer las cosas bien y quiénes no, sino lograr que la gran mayoría consiga hacerlas bien, es decir, si aceptamos que el papel fundamental de la evaluación es incidir positivamente en el proceso de aprendizaje, es preciso concluir que **ha de tratarse de una evaluación a lo largo de todo el proceso y no de valoraciones terminales**. Ello no supone –como a menudo interpretamos los profesores y los propios alumnos– parcializar la evaluación realizando pruebas tras períodos más breves de aprendizaje para terminar obteniendo una nota por acumulación, sino insistimos, integrar las actividades evaluadoras a lo largo del proceso con el fin de incidir positivamente en el mismo, dando la retroalimentación adecuada y adoptando las medidas correctoras necesarias en el momento conveniente (Colombo, Pesa y Salinas, 1986). Es cierto que realizar cinco pruebas, aunque tengan un carácter terminal –tras la enseñanza de un determinado dominio–, es mejor que una sola al final del curso; al menos habrán contribuido a impulsar un estudio más regular evitando que se pierdan todavía más alumnos; pero su incidencia en el aprendizaje sigue siendo mínima, o, peor aún, puede producir efectos distorsionantes. En efecto, a menudo la materia evaluada ya no vuelve a ser tratada, por lo que los alumnos que superaron las pruebas pueden llegar al final del curso habiendo olvidado prácticamente todo lo que estudiaron, teniendo conocimientos incluso más escasos que quienes fracasaron inicialmente y se vieron obligados a revisar por su cuenta.

Se acentúa así, además, la impresión de que no se estudian las cosas para adquirir unos conocimientos útiles e interesantes, sino para pasar unas pruebas. Es importante a este respecto ser conscientes de las leyes del olvido (Kempa, 1991) y planificar revisiones/profundizaciones de aquello que se considere realmente importante, para que los

alumnos afiancen dichos conocimientos aunque ello obligue, claro está, a reducir el currículo eliminando aspectos que, de todas formas, serían mal aprendidos y olvidados muy rápidamente.

- Por último, pero no menos importante, hemos de referirnos a la **necesidad de que los estudiantes participen en la regulación de su propio proceso de aprendizaje** (Baird, 1986; Linn, 1987; Jorba y Sanmartí, 1993 y 1995), dándoles oportunidad de reconocer y valorar sus avances, de rectificar sus ideas iniciales, de aceptar el error como inevitable en el proceso de construcción de conocimientos. Pero esto nos remite a las formas de la evaluación, que abordamos seguidamente. Antes plantearemos un problema que suele aparecer cuando se proponen unas características de la evaluación como las que acabamos de discutir. En efecto, a menudo surgen voces que señalan el peligro de que, aunque todas estas nuevas propuestas para la evaluación pueden beneficiar a quienes tienen dificultades, pudieran en cambio perjudicar a los buenos estudiantes, cuyos derechos no deben ser ignorados.

Propuesta de trabajo

¿En qué medida pueden resultar perjudicados los buenos estudiantes por una evaluación con las características propuestas?

Algunos profesores pueden pensar, en efecto, que una retroalimentación constante, un ritmo inicial pausado, etc., han de traducirse en pérdidas de tiempo que perjudicarán a los estudiantes bien preparados, cuyo derecho a aprender no debe ser ignorado. Pero, en realidad, lo que sucede es todo lo contrario: esta aparente pérdida de tiempo inicial permite romper con la rémora que supone a lo largo del curso la existencia de un núcleo importante de alumnos que "no siguen". Se produce así un progreso global, favorable *también* para los alumnos mejor preparados. Todo esto, por supuesto, debe ser explicitado para evitar inquietudes y tensiones innecesarias y transmitir, en definitiva, expectativas positivas a *todos* los alumnos.

Vistas las características fundamentales que una evaluación habría de poseer para convertirse en un instrumento eficaz de aprendizaje, conviene ahora detenerse en considerar las formas concretas de realizar dicha evaluación.

Propuesta de trabajo

Concibamos formas concretas de realizar la evaluación que permitan incidir positivamente en el aprendizaje de las ciencias. Consideremos, en particular, los pros y contras del examen como forma de evaluación.

Cabe decir, en primer lugar, que una orientación del aprendizaje como la que venimos desarrollando permite que *cada actividad realizada en clase por los alumnos constituya una ocasión para el seguimiento de su trabajo*, la detección de las dificultades que se presentan, los progresos realizados, etc. (Black, 1998). Es ésta una forma de evaluación extraordina-

riamente eficaz para incidir "sobre la marcha" en el proceso de aprendizaje, que se produce además en un contexto de trabajo colectivo, sin la distorsión de la ansiedad que produce una prueba individual. Ello no elimina, sin embargo, la necesidad de actividades de evaluación individuales que permitan constatar el resultado de la acción educativa en cada uno de los estudiantes y obtener información para reorientar convenientemente su aprendizaje. A tal efecto, consideramos muy conveniente la realización de alguna pequeña prueba en la mayoría de las clases sobre algún aspecto clave de lo que se ha venido trabajando. Ello permite:

- impulsar al trabajo diario y comunicar seguridad en el propio esfuerzo;
- dar información al profesor y a los propios alumnos sobre los conocimientos que se poseen, sobre las deficiencias que se hayan producido –haciendo posible la incidencia inmediata sobre las mismas– y sobre los progresos realizados, contribuyendo así a generar expectativas positivas;
- reunir un número elevado de resultados de cada alumno, reduciendo sensiblemente la aleatoriedad de una valoración única.

Conviene discutir inmediatamente las posibles respuestas a la actividad planteada, lo que permitirá conocer si la clase está o no preparada para seguir adelante con posibilidades de éxito. Se favorece así la participación de los alumnos en la valoración de sus propios ejercicios y en su autorregulación (Alonso, Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1995). Se puede aprovechar también esta discusión –si se realiza al comienzo de una clase– como introducción al trabajo del día, centrando la atención de los estudiantes de una forma particularmente efectiva.

Pese al interés y efectividad de estas pequeñas pruebas, consideramos que los exámenes o pruebas más extensas siguen siendo necesarios. Es cierto que el examen es visto a menudo como simple instrumento de calificación de los estudiantes, siendo criticado por lo que supone de aleatoriedad, tensión bloqueadora, etc. (Gould, 1982); sin embargo, un examen, o mejor dicho una *sesión de globalización*, es también ocasión de que el alumno se enfrente con una tarea compleja y ponga en tensión todos sus conocimientos. Por nuestra parte, asumiendo la crítica al examen como instrumento exclusivo de calificación, queremos referirnos al papel de las sesiones de globalización como ocasión privilegiada de aprendizaje si se cumplen algunas condiciones.

En primer lugar, es necesario que la sesión suponga la culminación de una revisión global de la materia considerada, incluyendo actividades coherentes con un aprendizaje por construcción de conocimientos: desde análisis cualitativos de situaciones abiertas hasta el tratamiento de las relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA); desde la construcción y fundamentación de hipótesis –más allá de las evidencias de sentido común– hasta la interpretación de los resultados de un experimento, etc. Es también necesario que las condiciones de realización de estas actividades globalizadoras sean compatibles con lo que supone una construcción de conocimientos –que conlleva tentativas, rectificaciones, etc.– y, en particular, que los estudiantes no se vean constreñidos por limitaciones de tiempo que sólo son compatibles con la simple repetición de conocimientos memorizados.

En segundo lugar, es muy conveniente que el producto elaborado por cada estudiante en estas sesiones sea devuelto comentado lo antes posible y que se discutan, cuestión por cuestión, las posibles respuestas, las contribuciones positivas y los errores aparecidos, la persistencia de preconcepciones, etc. Los estudiantes, con su producto delante, se

mantienen abiertos y participativos como nunca durante estas revisiones, que constituyen actividades de autorregulación muy eficaces. Y es también conveniente, tras esta discusión, solicitar de los estudiantes que rehagan de nuevo la tarea en su casa con todo cuidado y vuelvan a entregarla. Ello contribuye muy eficazmente a afianzar lo aprendido, como puede constatarse en los días siguientes con la realización de pequeños ejercicios sobre los aspectos que hubieran planteado más dificultades.

No podemos detenernos aquí en una descripción detallada de cada uno de los momentos de evaluación a que nos acabamos de referir, ni entrar siquiera a tocar otros aspectos de importancia como, por ejemplo, el tipo de instrumentos destinados a la recogida de información (Geli, 1995). Insistiremos tan sólo, para terminar, en que *los alumnos y alumnas han de ver debidamente valoradas todas sus realizaciones*, todos sus productos colectivos o individuales –desde la construcción de un instrumento hasta muy en particular, su cuaderno o dossier de clase– y no solamente aquellas planteadas como pruebas. Se incrementa así la información disponible para valorar y orientar adecuadamente el aprendizaje de los estudiantes y se contribuye a que éstos vean reconocidos todos sus esfuerzos, con el consiguiente efecto motivador. Se trata, en definitiva, de *lograr una total confluencia entre las situaciones de aprendizaje y de evaluación* (Pozo et al., 1992), explotando el potencial evaluador de las primeras y diseñando las segundas como verdaderas situaciones de aprendizaje. Es preciso también transformar los enunciados de las actividades de evaluación habituales, para que pierdan su carácter de ejercicio memorístico o simplemente operativo y favorezcan una actividad más significativa. Proponemos, a continuación, un ejemplo centrado en este mismo tema de la evaluación.

Propuesta de trabajo

Procedamos a transformar la siguiente actividad, concibiendo otra más adecuada: "Enumeren las visiones deformadas de la ciencia que la enseñanza puede transmitir o contribuir a reforzar (a través, por ejemplo, de lo que se evalúa o se deja de evaluar)".

Una actividad que se limita a pedir una "enumeración de visiones deformadas" tiene un carácter puramente memorístico y resulta escasamente significativa. Se puede pedir, a cambio, que se analice críticamente un texto con objeto de indicar las deformaciones en las que puede incidir por acción u omisión o pedir la transformación de un dibujo para salir al paso de las deformaciones en las que incide, etc. Son actividades que hemos utilizado ya en el capítulo 2.

Para favorecer la autorregulación se puede, por ejemplo, presentar directamente al estudiante una respuesta errónea, supuestamente perteneciente a otra persona (pero que es muy probable que coincida con aspectos de su propio pensamiento espontáneo), y pedirle que la corrija. De esta forma se consigue que adopte una actitud de reflexión crítica y no se deje llevar por lo que parece obvio.

Un ejemplo relacionado también con la propia evaluación sería el siguiente: "En un texto pedagógico leemos que la función de la evaluación es constatar en qué medida cada estudiante ha alcanzado los objetivos que se persiguen. Analizar críticamente dicha proposición".

Por supuesto, otra forma de favorecer la autoregulación de los estudiantes y, en definitiva, de lograr que sean conscientes de lo que se está tratando y por qué, qué se ha avanzado y lo que queda por avanzar, es proponer recapitulaciones periódicas, construcción de mapas conceptuales, etc., y, muy en particular, la cuidadosa elaboración y revisión del cuaderno de trabajo o *"portafolio"* (Duschl, 1995).

El trabajo realizado hasta aquí nos ha permitido romper con la habitual identificación entre evaluación y calificación de los estudiantes. Cabe plantearse, sin embargo, si la calificación conserva alguna funcionalidad en la nueva propuesta evaluativa.

El papel de la calificación

Hemos fundamentando hasta ahora una propuesta de evaluación como instrumento de mejora del aprendizaje, de la enseñanza y del propio currículo (aunque aquí nos hemos centrado en el primer aspecto). La cuestión a plantearse ahora es si la calificación conserva alguna funcionalidad en la nueva propuesta evaluativa y, en su caso, qué forma de calificación puede resultar coherente con dicha propuesta.

Propuesta de trabajo

Evaluar no es simplemente calificar, pero ¿qué idea de calificación puede derivarse de las finalidades y características de la evaluación discutidas hasta este momento?

Resumiremos, a continuación, el contenido de las propuestas realizadas en torno a la calificación en el campo de la educación científica (Alonso, Gil-Pérez y Martínez Torregrosa, 1996). Digamos, para empezar, que toda evaluación posee connotaciones valorativas: tanto al indicar la necesidad de profundizar o rectificar aspectos como al aceptar el trabajo realizado sin enmiendas sustanciales, se está expresando implícitamente una valoración, aunque la función esencial no sea la valoración, sino favorecer la mejora del producto. El o la estudiante puede percibir así lo más o menos cerca que se encuentra de haber conseguido un producto satisfactorio. La pregunta a formularse, pues, no es si debe haber o no valoración de la tarea, sino: *¿es conveniente traducir las valoraciones que conlleva toda evaluación a calificaciones explícitas y normalizadas?*

Para contestar a esta pregunta comenzaremos considerando el papel de la calificación en la formación de los investigadores noveles, que es la situación en la que se inspira nuestro modelo de aprendizaje de las ciencias, para después examinar su papel en la formación de los estudiantes de ciencia.

a) La calificación en la formación de los investigadores. Un mínimo análisis de las situaciones de formación de investigadores, como la que supone, por ejemplo, la preparación de una tesis doctoral, permite constatar que la evaluación juega un papel fundamental (en forma de seguimiento constante de la labor del doctorando), pero que la calificación está prácticamente ausente a lo largo de todo el proceso de formación. En efecto, la idea central que subyace en el compromiso del doctorando y del director de la investigación es que ambos son corresponsables de la tarea los dos están comprometidos en lograr un producto satisfactorio. Las críticas y sugerencias del director no constituyen un enjuiciamiento externo, sino una contribución interesada. Y como tal es percibida por el doctorando.

De hecho, durante todo el tiempo que dura la realización de la investigación no hay calificación alguna: sólo cuando el doctorando y el director consideran que el producto es aceptable se somete a la valoración de otros investigadores. Pero incluso esto último ha ido, afortunadamente, evolucionando y en algunas universidades se está generalizando la práctica de someter a los miembros del tribunal el borrador de la tesis con tiempo suficiente para que puedan expresar sus críticas y sugerencias y recogerlas en una nueva versión que cuente con su aceptación De esta forma, la lectura de la tesis se convierte en un acto protocolario que sanciona un producto que cuenta ya con la aceptación del tribunal (que se ha implicado, en caso necesario, en la mejora del producto).

La calificación ha perdido así su función de enjuiciamiento externo y de sanción discriminatoria, y constituyen rarísimas excepciones las tesis que no obtienen la máxima calificación que sanciona una investigación de calidad. Lo esencial, pues, es garantizar que el producto obtenido sea satisfactorio. Ello puede obligar a prolongar el período de realización e incluso puede llevar a algunos doctorandos a abandonar la investigación a la vista de las dificultades encontradas o porque deciden orientar su actividad en otra dirección. Pero, en cualquier caso, ese abandono constituye una opción que, en general, no viene impuesta por unas valoraciones negativas, por un enjuiciamiento "neutral" de quien dirige el trabajo o de un tribunal.

En definitiva, en una situación de formación de investigadores, la calificación explícita no está presente a lo largo del proceso y no conserva otra funcionalidad que el reconocimiento del trabajo realizado cuando éste posee suficiente calidad a los ojos del propio doctorando, del director de la tesis y de los miembros de un "tribunal" que constituye, más bien, una nueva instancia de revisión y ayuda, es decir, de evaluación como instrumento para la mejora del producto. Ésta es, en nuestra opinión, la mejor forma de plantear la evaluación y la calificación. Ahora bien, ¿en qué medida conviene o es posible hacer un planteamiento similar en una clase de ciencias de educación secundaria?

b) La calificación en la formación de los estudiantes de ciencias. En la medida en que nuestro modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación se inspira en la metáfora de los estudiantes como "investigadores noveles" y del profesor como "experto", consideramos adecuado un planteamiento de la evaluación y de la calificación como el que acabamos de describir. Lo esencial, pues, es orientar la evaluación como ayuda para la consecución, en el tiempo que sea necesario, de los logros perseguidos y que la calificación suponga tan sólo el reconocimiento de dichos logros.

Ahora bien, es obvio que, en el caso de una clase de ciencias, el contacto del "director de la investigación" (profesor) con cada "investigador novel" (cada estudiante) no puede ser tan directo, tan personalizado como el que se da en un equipo real de investigadores. Y es obvio también que los estudiantes no pueden centrarse en el trabajo de su clase de ciencias con la misma dedicación de un doctorando en su investigación. Ni puede pedirse a un adolescente la misma responsabilidad y capacidad de autorregulación que a un investigador real. Más aún, no es posible retrasar indefinidamente el momento de la valoración explícita del trabajo de los estudiantes, puesto que un curso tiene una duración determinada y a su término es preciso dar una calificación que indique la posibilidad o no de pasar a un nuevo nivel, etc.

Parece razonable, por todo ello, que la evaluación del trabajo de los estudiantes incluya indicaciones más explícitas y frecuentes del grado de consecución de los logros que se persiguen. Es decir, parece conveniente –y los mismos estudiantes lo reclaman– proporcionar valoraciones de las tareas que ayuden a los estudiantes a conocer si están progresando

adecuadamente o no. Se trataría, en definitiva, de hacer explícitas las valoraciones que en los comentarios de una evaluación formativa aparecen ya implícitamente. En resumen, la calificación puede ser conveniente –además de constituir una exigencia social difícilmente soslayable– como complemento de la evaluación formativa que hemos intentado fundamentar. Pero ello exige también una profunda modificación del uso y sentido de la calificación.

- En primer lugar, la calificación debe ser, como ya hemos señalado, una *estimación* de los *logros de cada estudiante*, una indicación de su grado de consecución de los logros que se persiguen. Más precisamente, la calificación no puede tener, como a menudo ocurre, una función comparativa y discriminatoria, en la que la valoración de un estudiante depende de los resultados de los demás, atendiendo a una "norma" que aproxima las calificaciones a una gaussiana (con, por definición... ¡una mitad de estudiantes fracasados!). Por el contrario, cada estudiante ha de saber que una calificación positiva depende exclusivamente de que alcance los logros que se persiguen. Es más, ha de saber que dichos logros se ajustan a lo que los estudiantes de su edad pueden llegar a realizar y son perfectamente alcanzables.
- En segundo lugar, la calificación ha de constituir una estimación cualitativa que utilice categorías amplias (no tiene sentido una calificación numérica del tipo 6,75), se apoye en una diversidad de elementos y se justifique con comentarios detallados. Cuantos más elementos podamos tomar en consideración (incluyendo, muy en particular, las actividades ordinarias de aprendizaje realizadas en clase) *y cuanto más amplias sean las categorías*, más fiables y fáciles de consensuar resultaran las estimaciones. De hecho, una calificación de estas características permite que no haya discrepancias sensibles entre las valoraciones del profesor y las del propio estudiante (o las que pueden realizar sus compañeros). Esto es algo que hemos constatado reiteradamente a lo largo de más de una década con estudiantes de secundaria y profesores en formación, poniendo de relieve que una evaluación continua (un seguimiento continuo, basado en una pluralidad de elementos como los descritos) proporciona una percepción bastante ajustada del dominio alcanzado por los estudiantes, tanto al profesor como a ellos mismos.
- Toda calificación ha de ser presentada como una indicación provisional y ha de ir acompañada, en caso necesario, de propuestas de actuación para su mejora (y de la comunicación de expectativas positivas en ese sentido). No es lo mismo, por supuesto, dar a un estudiante una valoración de "insuficiente" que explicarle que ha de realizar progresos en tales y cuales aspectos para lograr una valoración global positiva, estimularle a realizar las tareas correspondientes y apoyarle con un seguimiento adecuado.

Esta naturaleza de las calificaciones como indicaciones provisionales, destinadas a favorecer la autorregulación de los estudiantes, puede verse reforzada si se sustituyen las valoraciones negativas, tipo "insuficiente", por un "pendiente de calificación" *sin connotaciones de rechazo*. Pero no se trata, claro está, de proponer un simple cambio de denominación, sino de plantear con claridad que la evaluación tiene como finalidad favorecer unos determinados logros y que el trabajo ha de continuar hasta conseguirlos *en el tiempo que haga falta*. Incluso si ello implica, en algún caso, continuar los mismos estudios el curso siguiente, es preciso presentar esta prolongación como algo positivo, como una adaptación al ritmo que el estudiante puede llevar en ese momento, con el convencimiento de que así afianzará su preparación para proseguir mejor sus estudios. Se trata, en

definitiva, de introducir aquí la misma flexibilidad que se tiene con el período de formación de un investigador y el mismo convencimiento de que lo esencial es llegar a un producto satisfactorio, transmitiendo expectativas positivas al respecto.

Señalemos, para terminar, que una calificación con las características que acabamos de proponer se integra coherentemente en la propuesta de evaluación como instrumento de aprendizaje y su asunción genera expectativas positivas que se traducen en mejores resultados y en una nueva forma de enfocar las relaciones entre profesores y estudiantes, más de acuerdo con la propuesta de aprendizaje como investigación dirigida.

La evaluación de la enseñanza y el currículo

Después del análisis de la evaluación del aprendizaje de las ciencias y la discusión de su reorientación, cabría ahora proceder a un trabajo similar en torno a la evaluación de la enseñanza y del currículo.

Propuesta de trabajo

¿Qué preguntas convendría que nos planteáramos en torno a la evaluación de la enseñanza y del currículo?

Se trataría de plantearnos cuestiones como, por ejemplo: *¿Qué aspectos de la actividad de los profesores y profesoras de ciencias convendría someter a evaluación? Se trata de contemplar todo aquello que pueda tener una incidencia, directa o indirecta, en la calidad de la enseñanza. ¿Quién y cómo habría de realizar la evaluación de la actividad del profesorado? ¿Qué aspectos del funcionamiento de un centro educativo convendría someter a evaluación*?

No podemos desarrollar aquí esta parte de la evaluación correspondiente a la actividad de los profesores y al currículo, que exigiría una extensión similar a la destinada a la evaluación del aprendizaje de los estudiantes. El tratamiento pormenorizado de ambas cuestiones sobrepasa los objetivos y extensión de este libro. Por lo que se refiere a la evaluación del currículo, nos remitimos, por ejemplo, a los capítulos VIII, IX y X del libro *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria* (Gil-Pérez et al., 1991). En cuanto a la evaluación de la enseñanza, la idea central sigue siendo concebir la evaluación como un instrumento de seguimiento y regulación para la mejora del proceso, evitando reduccionismos empobrecedores, es decir, atendiendo a las distintas dimensiones del acto educativo. En particular, es preciso atender al papel de los docentes como responsables de la creación de un clima de aula y de centro susceptibles de facilitar la implicación de los alumnos en tareas de interés (Fraser, 1994).

Procederemos ahora, para finalizar, a recapitular el trabajo realizado acerca de la evaluación.

POSIBLES TAREAS DE GLOBALIZACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO EN TORNO A LA EVALUACIÓN

La naturaleza de los aspectos tratados en este capítulo, asociados a comportamientos y actitudes que hemos asumido, muy a menudo, de forma acrítica, como algo "natural", "de sentido común", recomienda formas de globalización que permitan recapitular los debates que se han producido en la comunidad científica. Por ejemplo:

Propuesta de trabajo

Elaborar un cuadro comparativo de la evaluación habitual y de la propuesta alternativa que hemos construido.

O bien:

Propuesta de trabajo

Construir un mapa conceptual que refleje la evaluación habitual de las ciencias y otro para las propuestas renovadoras.

Invitamos a los lectores y lectoras a realizar su propia recapitulación de este aspecto central del modelo de aprendizaje como investigación que hemos desarrollado en esta segunda parte del libro.

Ahora dedicaremos la tercera parte a presentar ejemplos concretos de desarrollos de temas con las orientaciones que se han venido fundamentando.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir de los siguientes trabajos:

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori. (Capítulo 7: "La evaluación en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias").

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1992). Concepciones espontáneas de los profesores de ciencias sobre la evaluación. Obstáculos a superar y propuestas de replanteamiento. *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 18-38.

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1996). Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza constructivista de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 30, 15-26.

Referencias bibliográficas en este capítulo

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1992a). Concepciones espontáneas de los profesores de ciencias sobre la evaluación. Obstáculos a superar y propuestas de replanteamiento, *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 18-38.

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1992b). Los exámenes en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 127-138.

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1995). Actividades de evaluación coherentes con una propuesta de enseñanza de la Física y la Química como investigación: actividades de autorregulación e interregulación. *Revista de Enseñanza de la Física*, 8(2), 5-20.

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1996). Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza constructivista de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 30, 15-26.

BAIRD, J.R. (1986). Improving learning trough enhanced metacognition: A classroom study. *European Journal of Science Education*, 8(3), 263-282.

BLACK, P. (1998). Assessment by teachers and the improvement of students' learning. En Fraser, B. J. y Tobin, K .G. (Eds.*), International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers**.**

BRISCOE, C. (1991). The dynamic interactions among beliefs, role metaphors and teaching practices. A case study of teacher change, *Science Education*, 75(2), 185-199.

CALATAYUD, M. L., GIL-PÉREZ, D. y GIMENO, J. V. (1992). Cuestionando el pensamiento docente espontáneo del profesorado universitario: ¿las deficiencias de la enseñanza secundaria como origen de las dificultades de los estudiantes?. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 14, 71-81.

COLOMBO DE CUDMANI, L., PESA DE DANON, M. y SALINAS DE SANDOVAL, J. (1986). La realimentación en la evaluación de un curso de laboratorio de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 122-128.

CRONIN-JONES, L. L. (1991). Science teaching beliefs and their influence on curriculum implementation: two case studies. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 235-250.

DUSCHL, R. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 3-14.

FRASER, B. J. (1994). Research on classroom and school climate. En Gabel, D. L. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* New York: McMillan Pub Co.

GELI, A. (1995). La evaluación de los trabajos prácticos. *Alambique*, 4, 25-32.

GIL- PÉREZ, D. (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69-77

GILPÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

GOULD, S. J. (1982). *La falsa medida del hombre.* Barcelona: Bosch.

HEWSON, P. W. y HEWSON, M. G. (1987). Science teachers' conceptions of teaching: implications for teachers education. *International Journal of Science Education*, 9(4), 425-440.

HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.

HOYAT, F. (1962). *Les Examens*. Paris: Institut de l'UNESCO pour l'Education. Ed Bourrelier.

IMBERNON, F. (1990). La formación del profesorado. *Cuadernos de Pedagogía*, 178, 88-97.

JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1993). La función pedagógica de la evaluación. *Aula de Innovación Educativa*, 20, 20-23.

JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1995). Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Alambique*, 4, 59-77.

KEMPA, R. F. (1991). Students' learning difficulties in science. Causes and possible remedies. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), 119-128.

LINN, M. C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 191-216.

PORLÁN, R. (1993). *Constructivismo y Escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Sevilla: Diada.

POZO, I., GÓMEZ, M. A., LIMÓN, M. y SANZ, A. (1992). *Procesos cognitivos de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la Química*. CIDE, MEC, Colección Investigadora.

RODRÍGUEZ, L. M., GUTIÉRREZ, F. A. y MOLLEDO, J. (1992). Una propuesta integral de evaluación en Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias,* 10(3), 254-267.

ROSENTHAL, R. y JACOBSON, L. (1968). *Pygmalion in the classroom*. New Jersey: Rineheart and Winston.

SANTOS, M. A. (1993). La evaluación: un proceso de diálogo, comprensión y mejora. *Investigación en la Escuela*, 20, 23-35.

SATTERLY, D. y SWAM, N. (1988). Los exámenes referidos al criterio y al concepto de ciencias: un nuevo sistema de evaluación. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 278-284.

SPEAR, M.G. (1984). Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics. *European Journal of Science Education*, 6(4), 369-377.

TAMIR, P. (1998). Assessment and evaluation in science education: opportunities to learn and outcomes. En Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (Eds.), *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers.

VIENNOT, L. (1989). L'enseignement des sciences physiques objet de recherche. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 899-910.

TERCERA PARTE

¿CÓMO PONER EN PRÁCTICA EL MODELO DE APRENDIZAJE COMO INVESTIGACIÓN?

Esta tercera parte está destinada a presentar una serie de ejemplos de puesta en práctica del modelo de aprendizaje como investigación orientada que hemos desarrollado hasta aquí. Incluimos a tal fin, en primer lugar, las orientaciones generales para el diseño de un temario (capítulo 9), cuatro *programas de actividades* que desarrollan cuatro temas de física y química, (capítulos 10 a 13) y un último tema que desborda el marco de las disciplinas.

Cada programa de actividades está concebido como un material destinado a orientar el trabajo de los equipos de estudiantes y las puestas en común posteriores. Como podrá observarse, cada actividad, o grupo de actividades, va acompañada de comentarios, destinados al profesorado, en los que se detalla lo que se pretende con las mismas, qué resultados cabe esperar, etc. En particular, hemos incluido en cada programa unos "comentarios preliminares" destinados a contextualizar el tema correspondiente, es decir, a justificar su elección, señalar su posible lugar en el temario, conectar con los temas que le preceden, etc.

Naturalmente, de acuerdo con las mismas características del modelo, se trata de programas de actividades flexibles, que suelen experimentar modificaciones y enriquecimientos al ser puestos en práctica. Y aunque los ejemplos incluidos han sido elaborados, ensayados y evaluados colectivamente, no se presentan aquí como una guía a seguir, sino como propuesta que cada profesor o equipo de profesores puede remodelar.

Queremos resaltar que dos de los programas de actividades incluidos (capítulos 11 y 14) están concebidos para contribuir explícitamente a las iniciativas de la ***Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible.***

De acuerdo con lo que acabamos de exponer, esta tercera parte constará de los siguientes capítulos:

Capítulo 9. *¿Cómo diseñar los contenidos de un tema o de un curso?*

Capítulo 10. *¿Cómo profundizar en el estudio de los cambios que ocurren a nuestro alrededor?*

Introducción de los conceptos de trabajo y energía

Capítulo 11. *¿Qué problemas plantean la obtención y el consumo de recursos energéticos?*

Capítulo 12. *Tierra y cielos: ¿dos universos separados?*

Capítulo 13. *¿Cómo explicar la gran diversidad de materiales y sus transformaciones? Una primera aproximación a la estructura de la materia*

Capítulo 14. *¿Qué desafíos tiene planteados hoy la humanidad? Educación para el desarrollo sostenible*

Nota:

En la sección *Otras Voces* se incluyen dos ejemplos de programas de actividades sobre temas de biología

Capítulo 9

¿Cómo diseñar los contenidos de un tema o de un curso?

Joaquín Martínez Torregrosa, Carlos Sifredo y Rafaela Verdú

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Cómo diseñar los contenidos de un curso y de cada tema, coherentemente con el modelo de aprendizaje como investigación orientada, para favorecer el interés de los estudiantes hacia la ciencia, su participación en la construcción de los conocimientos y, en definitiva, su inmersión en una cultura científica?
- ¿Qué problemas de interés utilizar como estructurantes para el desarrollo del curso y de cada tema?
- ¿Qué secuencia de actividades concretas diseñar, considerando las metas a alcanzar y los obstáculos previsibles (teniendo en cuenta la investigación al respecto)?

EXPRESIONES CLAVE

Estructura problematizada de un curso y de cada tema; problemas estructurantes; hilo conductor de un tema o un curso; programa de actividades; modelo de aprendizaje como investigación orientada.

INTRODUCCIÓN

En la primera parte de este libro expresamos y fundamentamos la necesidad de acercar la actividad del aula a las características del trabajo científico, de manera que el aprendizaje de las ciencias se desarrolle en un contexto de "inmersión en la cultura científica". En el capítulo 2 analizamos las visiones deformadas de la ciencia habitualmente transmitidas por la enseñanza y medios de comunicación y, en el cuadro 1, presentamos una serie de aspectos o tipos de actividades que deberían estar presentes en un currículo de ciencias para favorecer la construcción de conocimientos científicos.

En la segunda parte hemos visto que es posible transformar las actividades que habitualmente se realizan en la enseñanza de las ciencias (trabajos prácticos, resolución de problemas de papel y lápiz, introducción de conceptos) en actividades coherentes (dentro de lo posible en el contexto escolar) con el modo en que se producen los conocimientos científicos y llevar a cabo una evaluación que apoye e impulse dicho trabajo.

Esta tercera parte del libro está destinada a presentar ejemplos de unidades didácticas o temas planteados con dicha orientación, comenzando por abordar en este capítulo la siguiente cuestión que recapitula lo que hemos presentado en la segunda parte: *¿cómo diseñar un tema o, incluso, un curso completo de manera coherente con el modelo de aprendizaje como investigación orientada?*

Conviene comenzar analizando la forma en que se suelen estructurar los temas en la enseñanza habitual, para así poder considerar los cambios que es preciso introducir:

Propuesta de trabajo

Analicemos críticamente la estructura que suele darse a los temas en la enseñanza por transmisión.

En primer lugar, debemos llamar la atención sobre el carácter generalmente aproblemático del comienzo de los temas en la enseñanza por transmisión de conocimientos ya elaborados, que se pone de manifiesto tanto en el título como en la introducción y primeros apartados, tal como suelen presentarse en los libros de texto que, como sabemos, son el medio más frecuentemente utilizado por profesores y alumnos en la enseñanza habitual. En efecto, los títulos habituales suelen ser meros nombres/etiqueta de aquello que se va a transmitir: Cinemática, metabolismo celular, óptica geométrica, la estructura corpuscular de la materia, estequiometría y, en la introducción del tema, dichos títulos a menudo "se explican" con definiciones tales como "es la parte de la física que estudia el movimiento"; "conjunto de reacciones que ocurren en el interior de la célula"; "estudio del comportamiento de la luz cuando se puede ignorar su naturaleza ondulatoria", etc.

Dicha introducción, que en algunos casos incluye unos breves párrafos acerca de la importancia del tema, o una indicación de lo que al final deberán saber los alumnos, da paso a una secuencia de apartados que suele comenzar con la definición de los conceptos y/o modelos que se van a utilizar, de los "conceptos fundamentales", de una manera segura y acabada, "como si fueran inevitables, formaciones rocosas que han existido desde siempre", en palabras de Arons (1988). La lógica que subyace en la secuenciación de contenidos es sólo comprensible para quien ya conoce el tema: se trata de dar antes lo

que *el profesor* sabe que se va a necesitar después. Los alumnos se encuentran inmersos en una secuenciación que les resulta arbitraria: no son partícipes de un plan. Los datos de recientes investigaciones (Verdú, 2004) confirman que la gran mayoría de los alumnos, en cualquier momento del desarrollo de un tema, no sabe para qué está haciendo lo que hace, qué va a venir a continuación (qué se busca), cuánto se ha avanzado y lo que queda por avanzar. En consecuencia, difícilmente pueden sentirse motivados hacia su estudio.

Otro de los aspectos característicos de la estructura de los temas en la enseñanza por transmisión de conocimientos, es la separación entre el estudio de conceptos y modelos (la "teoría", en terminología convencional), las "prácticas" y los "problemas". Ya hemos visto, en la segunda parte de este libro, que las "prácticas", con frecuencia, son ilustraciones de lo ya dado en "teoría" (mostrar cómo una ley que ya se ha explicado se cumple, por ejemplo) y los problemas de lápiz y papel son planteados como si fueran simples ejercicios de aplicación de la teoría. Es necesario resaltar que, como mostramos en el capítulo 6, la orientación del aprendizaje como una investigación dirigida priva de sentido a esta separación que, conviene notar, *no guarda paralelismo alguno con la actividad científica real*. En la medida en que pretendamos proporcionar a los estudiantes una visión correcta del trabajo científico, el tratamiento por separado de aspectos ("la teoría", "las prácticas" y "los problemas") que en la actividad científica aparecen absolutamente imbricados, se convierte en un factor distorsionante, es decir, en un obstáculo. Hemos de reconocer, sin embargo, que esta elemental consideración no ha bastado para rechazar claramente esta compartimentación de la actividad escolar. Ello constituye, pensamos, un ejemplo más del peso de tradiciones asumidas acríticamente (Gil-Pérez et al., 1999). Afortunadamente, los avances realizados por la investigación e innovación didácticas, en torno a cada una de las tres actividades mencionadas, ha ido mostrando convergencias –ver capítulos 4, 5 y 6– que reclaman su integración en un único proceso.

Del mismo modo, y en coherencia con todo lo anterior, en las unidades didácticas se suele prestar escasa atención a los contenidos de tipo actitudinal, relacionados con los denominados aspectos axiológicos del aprendizaje, en cuya importancia hemos insistido reiteradamente: relaciones CTSA que enmarcan el desarrollo científico, aspectos históricos, preparación de los estudiantes para la toma fundamentada de decisiones, etc. A todo ello hay que añadir que, en la enseñanza habitual, se acostumbra terminar el estudio de los temas con un examen que tiene las características ya analizadas en el capítulo 8: las de un mero instrumento de constatación de lo que el alumno sabe. Un instrumento limitado a lo más fácilmente medible, que se convierte en la finalidad de la enseñanza, en el "amo" del proceso de enseñanza/aprendizaje (Novak, 1991), y orienta en una dirección errónea la actividad de alumnos y profesores.

Es verdad que**,** en algunos casos**,** la situación no parece tan esquemáticamente transmisiva como hemos criticado: a menudo, por ejemplo, se hacen preguntas a los alumnos, pero se trata, en general, de preguntas retóricas o anecdóticas, que no influyen en cómo se organiza el estudio del tema. Algo esencial, precisamente, es preguntarse si la *estructura* del tema y del curso *responde* a una planificación de las actividades y tareas que parta de un planteamiento de situaciones problemáticas que los alumnos y alumnas puedan considerar de interés para implicarse en su estudio, concebido como una investigación. Conviene recordar, una vez más, las características de este modelo de aprendizaje.

CARACTERÍSTICAS DE UN APRENDIZAJE CONCEBIDO COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA

Propuesta de trabajo

Recordemos las características fundamentales de un aprendizaje concebido como investigación orientada.

Como señalábamos en el capítulo 6, se trata, en síntesis, de plantear el aprendizaje de cada tema –y del conjunto de temas que componen un curso– como un trabajo de *investigación y de innovación,* a través del *tratamiento de situaciones problemáticas* relevantes para la construcción de conocimientos científicos y el logro de innovaciones tecnológicas susceptibles de satisfacer determinadas necesidades. Ello ha de contemplarse como una actividad abierta y creativa, debidamente orientada por el profesor, que se inspira en el trabajo de científicos y tecnólogos –y, muy en particular, en las grandes preguntas que han orientado dicho trabajo– que debería incluir toda una serie de aspectos como los que recordamos brevemente a continuación:

- *La discusión del posible interés y relevancia de las situaciones* propuestas que dé sentido a su estudio y evite que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora.
- *El estudio cualitativo, significativo, de las situaciones problemáticas* abordadas, que ayude a comprender y acotar dichas situaciones a la luz de los conocimientos disponibles, de los objetivos perseguidos... y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca, que proporcionen una concepción preliminar de la tarea y favorezcan la implicación en un plan (que constituirá el hilo conductor o índice del tema).
- *La invención de conceptos y emisión de hipótesis* fundamentadas, susceptibles de focalizar y orientar el tratamiento de las situaciones, al tiempo que permiten a los estudiantes hacer predicciones susceptibles de ser sometidas a prueba.
- *La elaboración y puesta en práctica de estrategias de resolución*, incluyendo, en su caso, el diseño y realización de montajes experimentales para someter a prueba las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone, lo que exige un trabajo de naturaleza tecnológica para la resolución de los problemas prácticos que suelen plantearse.
- *El análisis y comunicación de los resultados*, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de estudiantes y por la comunidad científica.
- *La consideración de las posibles perspectivas:* conexión de los conocimientos construidos con otros ya conocidos, elaboración y perfeccionamiento de los productos tecnológicos que se buscaban o que son concebidos como resultado de las investigaciones realizadas, planteamiento de nuevos problemas. Todo ello se convierte, con ocasión del manejo reiterado de los nuevos conocimientos, en una variedad de situaciones, contribuyendo a su profundización y resaltando en particular las relaciones ciencia, tecnología sociedad y ambiente (CTSA) que enmarcan el desarrollo científico, con atención a las repercusiones de toda índole de los conocimientos científicos y tecnológicos, propiciando, a este respecto, la toma de decisiones.

Cabe insistir, además, en la necesidad de dirigir todo este tratamiento a mostrar el carácter de cuerpo coherente que tiene toda ciencia, favoreciendo, para ello, las *actividades de síntesis* (esquemas, memorias, recapitulaciones, mapas conceptuales...) y la *elaboración de productos* susceptibles de romper con planteamientos excesivamente escolares y de reforzar el interés por la tarea.

Estas síntesis y recapitulaciones son fundamentales para que los estudiantes no olviden el hilo conductor de la tarea planteada. La estructura problematizada del curso y de cada tema favorece, de modo natural, la realización de recapitulaciones periódicas sobre lo que se ha avanzado en la solución al problema planteado, los obstáculos superados y lo que queda por hacer, y la elaboración de informes del trabajo realizado, con características similares a los informes científicos, todo lo cual constituye una ocasión privilegiada para la regulación y reorientación del trabajo de los alumnos en el desarrollo de la investigación.

De este modo, la evaluación, concebida como un instrumento de ayuda para el avance en la resolución de los problemas planteados, se integra totalmente en este proceso. Como señalábamos en el capítulo 8, se trata, en definitiva, de *lograr una total confluencia entre las situaciones de aprendizaje y de evaluación* (Pozo et al., 1992).

Es conveniente remarcar que, como señalábamos en el capítulo 6, *las orientaciones precedentes no constituyen un algoritmo* que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos, sino indicaciones genéricas que llaman la atención sobre aspectos esenciales en la construcción de conocimientos científicos que, a menudo, no son suficientemente tenidos en cuenta en la educación científica.

Pero llegar a concretar las secuencias de actividades como propuestas de investigación guiada que se van a proponer en el aula a los estudiantes, requiere que el equipo de profesores/investigadores que diseña el curso disponga de un conocimiento profundo de la materia a tratar: cuáles fueron los problemas que están en el origen de los conocimientos abordados, cómo se ha llegado hasta el conocimiento actual, cuáles fueron las dificultades que hubo que superar, las ideas que permitieron avanzar, el contexto social y los desarrollos tecnológicos y las repercusiones sociales que tuvieron y tienen los estudios en dicho campo, etc. (Gil Pérez et al., 1991).

En general, adquirir dicha formación exige un estudio histórico y epistemológico del campo que se va a tratar. Pero no basta: la elaboración de la estructura problematizada debe ser abordada –y esto es fundamental– con *"intencionalidad didáctica" guiada por una "experiencia práctica docente reflexionada y los hallazgos de la investigación educativa"*, para que su desarrollo sea útil y factible para los estudiantes implicados. Aun así, las secuencias de actividades elaboradas para despertar el interés y favorecer el aprendizaje significativo de los estudiantes (de las que se presentan ejemplos en los capítulos siguientes) deben ser consideradas como hipótesis de trabajo que han de ser sometidas a su puesta en práctica reiterada en las aulas, lo que indudablemente conducirá a revisiones e, incluso, a profundas reestructuraciones. La elaboración de los temas y cursos como problemas, desde las preguntas estructurantes hasta la secuencia de actividades, es una de las tareas más retadoras, y por tanto más apasionantes, con las que un equipo de profesores puede enfrentarse. Aunque, como ya hemos señalado, el proceso de elaboración no puede caracterizarse por el seguimiento de unas etapas rígidas, resulta conveniente formularse una serie de preguntas generales que lo orienten.

Propuesta de trabajo

Consideren posibles preguntas que permitan orientar las acciones necesarias para que un equipo de profesores/investigadores elabore la estructura problematizada de un tema o de un conjunto de temas.

El **cuadro 1** recoge y comenta brevemente algunas preguntas que consideramos básicas para orientar la elaboración de una estructura problematizada.

Cuadro 1.

Preguntas que pueden guiar el estudio histórico, epistemológico y didáctico para elaborar la estructura problematizada de un tema

SOBRE EL PROBLEMA ESTRUCTURANTE Y LO QUE SE DEBE PRETENDER CONSEGUIR

¿Qué problemas de interés están en el origen de los conocimientos que han de adquirir los estudiantes?

Esto debe permitir identificar el **objetivo clave** y posibles problemas "estructurantes".

¿Cuál o cuáles de estos problemas serían más adecuados para iniciar el proceso de investigación?

No tiene por qué recurrirse necesariamente a los mismos problemas que se plantearon históricamente (incluso, a veces, puede no ser conveniente). La selección ha de estar orientada por el propósito de que sea adecuada para organizar el plan de investigación de los alumnos en torno a él y, en primer lugar, a despertar su interés hacia el estudio.

SOBRE METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS PREVISIBLES PARA ALCANZARLAS

¿Qué ideas o conocimientos constituyeron pasos necesarios para solucionar los problemas, para alcanzar los objetivos clave? ¿Cuáles fueron los obstáculos más importantes en dicho proceso?

Este estudio debe permitir identificar objetivos más concretos, o **metas parciales**, y posibles **obstáculos asociados**. Se trata de seleccionar aquellos conocimientos que necesariamente deben ser adquiridos para lograr la solución al problema estructurante, teniendo presente los condicionamientos técnicos, sociales, ideológicos, etc., que hicieron posible u obstaculizaron el avance.

¿Qué preconcepciones (ideas, razonamientos, actitudes) pueden tener los alumnos sobre los aspectos anteriores que supongan obstáculos para el aprendizaje y que, por tanto, deben ser tomados en consideración?

Nos remitimos aquí a lo discutido en el capítulo 6 acerca de los hallazgos de la investigación didáctica sobre ideas y razonamientos espontáneos de los alumnos y por la previsible semejanza entre las barreras históricas más importantes y las ideas espontáneas más arraigadas.

SOBRE QUÉ ESTRATEGIAS SEGUIR Y CÓMO FAVORECER LA REVISIÓN DE LO AVANZADO AL DESARROLLARLAS

¿Qué estrategia global o plan de trabajo (que se convertirá en el índice o hilo conductor del tema) conviene establecer, implicando en lo posible a los alumnos, para avanzar en la solución a los problemas iniciales?

En un ambiente investigativo es preciso establecer un plan de trabajo ligado, intencional y lógicamente, al problema planteado, al que poder recurrir ocasionalmente (al menos a la finalización o comienzo de los grandes apartados) para favorecer la orientación de los alumnos: ¿cuál era el problema planteado?, ¿cómo planificamos su tratamiento?, ¿qué hemos avanzado?, ¿qué hemos tenido que superar para llegar hasta aquí?, ¿qué vamos a hacer ahora?...

SOBRE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES CONCRETAS Y EL SISTEMA DE EVALUACIÓN

¿Qué plan concreto de investigación –programa de actividades– proponer a los alumnos para desarrollar la estrategia propuesta?

¿Cómo planificar la evaluación para que se convierta en un instrumento que oriente e impulse la buena marcha de la investigación?

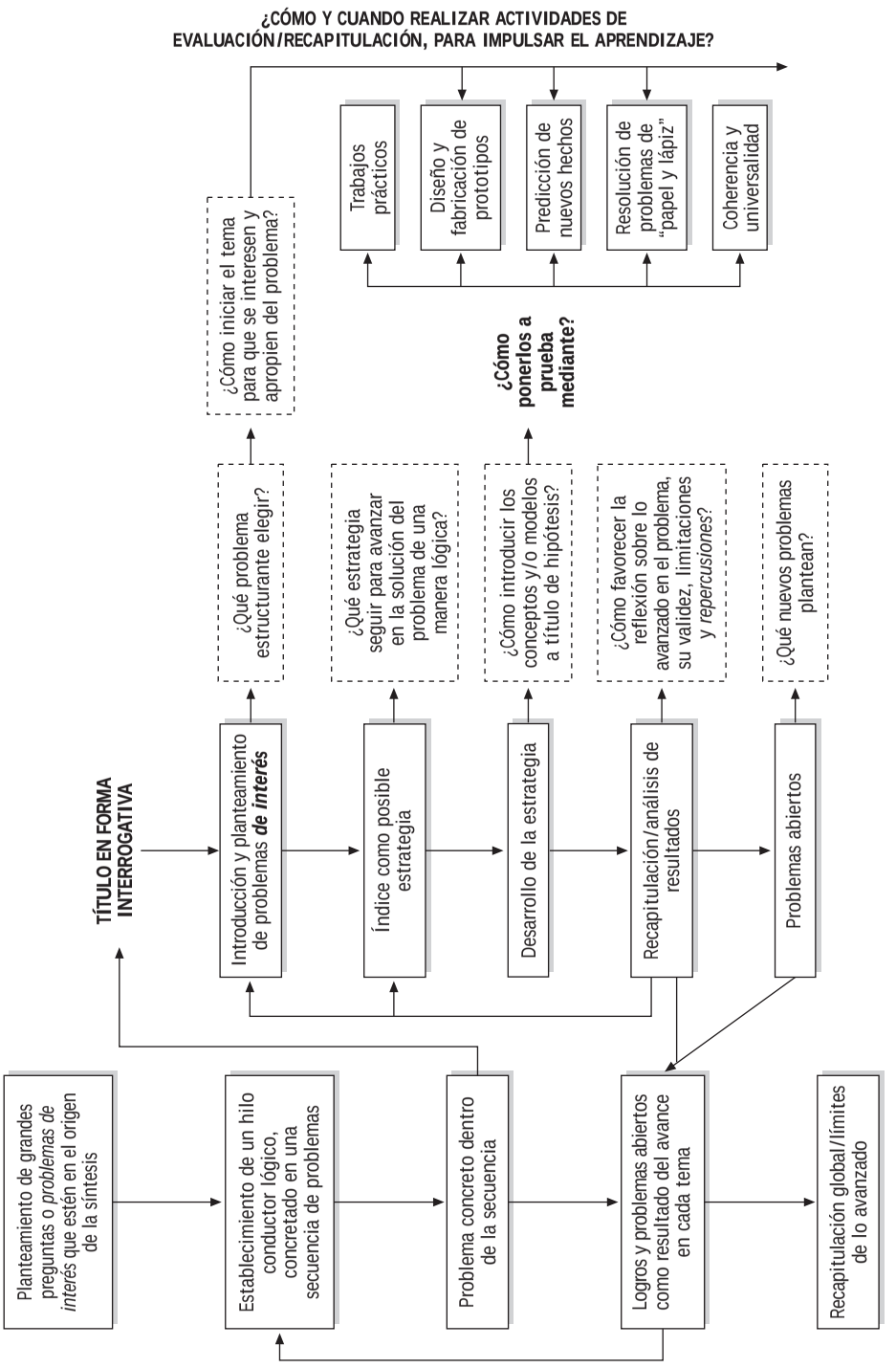
Dicho plan (la secuencia de actividades concretas que se van a proponer a los alumnos en el aula) y el sistema de evaluación concebido para impulsar el aprendizaje constituyen la "estructura fina" del tema, y deberán ser considerados como hipótesis de trabajo que es preciso poner aprueba e ir modificando para lograr que con ellos los estudiantes comprendan la relevancia de las problemáticas abordadas, pongan en práctica las estrategias propias de la actividad científica (dentro de lo posible en el contexto escolar), adquieran significativamente los conocimientos científicos y analicen las implicaciones CTSA de los correspondientes desarrollos científico-tecnológicos, propiciando la toma de decisiones. Se trata, en suma, de favorecer su "inmersión en la cultura científica".

Tras el análisis realizado, es conveniente resaltar la estrecha relación que habrá entre el problema estructurante y el objetivo clave, por un lado, y entre la estrategia o índice, las metas parciales y las recapitulaciones, por otro. Resulta útil pensar en estos elementos como la "estructura gruesa o de paso largo" de la planificación. La secuencia concreta de actividades en cada apartado y el sistema de evaluación (excepto las grandes recapitulaciones) podría considerarse la "estructura fina o de paso corto" de la planificación. Debe resaltarse que el estudio realizado permite generar un itinerario posible de aprendizaje y otro de obstáculos asociados, lo que favorece el diseño adecuado de un itinerario de evaluación, concebida como un instrumento para impulsar y asegurar el avance en el problema tratado, integrado dentro del plan de investigación.

Puede ser útil, para generar secuencias de actividades problematizadas, y para la orientación de profesores y alumnos, la utilización de un instrumento, como el que muestra la **figura 1**, que hemos denominado "*gráfico de estructura problematizada*", que constituye una representación de la estructura de partida de los temas y síntesis (Verdú, Martínez Torregrosa y Osuna, 2002; Martínez Torregrosa, Martínez Sebastiá y Gil-Pérez, 2003). Pero con ayuda del gráfico o sin ella, *lo esencial es que el desarrollo de un tema y de todo el curso se aproxime a un proceso de investigación en torno a problemas de interés*, lo que debe reflejarse, desde el título mismo de los temas, en el carácter creativo de las actividades propuestas y en las posibilidades que brinda a los alumnos de participar en la (re)construcción y sólida apropiación de los conocimientos, a la vez que se familiarizan con la actividad científica y tecnológica y aumenta su interés hacia la ciencia y su estudio. Esto es lo que pretendemos mostrar en el resto de capítulos de esta tercera parte, que constituyen ejemplos de programas de actividades concebidos con la estructura problematizada que hemos intentado fundamentar.

Figura 1.

ESTRUCTURA BÁSICA DE UN TEMA DENTRO DE UNA GRAN SÍNTESIS Y PREGUNTAS QUE SE PLANTEAN



Aquí, para terminar, presentamos en anexo dos ejemplos de gráficos de estructura problematizada. El primero, en torno a la visión, lleva por título "¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?" (Martínez Torregrosa, Osuna y Verdú, 1999; Osuna, 2001). El otro presenta la estructura problematizada de la mecánica (Martínez Torregrosa et al., 1999; Verdú, 2004). Somos conscientes de que estos gráficos no resultan en sí mismos significativos, excepto para quienes han participado en su construcción o pueden conocer con detalle el proceso que se ha seguido. Nos remitimos, pues, a las referencias indicadas para quienes deseen asomarse a dicho proceso.

En los capítulos 10 a 14 damos paso a la presentación de algunos programas de actividades con comentarios para los profesores. Esos comentarios, que se distinguen tipográficamente del texto (propuesta de trabajo) dirigido a los alumnos, pretenden justificar las actividades incluidas y recogen asimismo los resultados que se han obtenido al ponerlas en práctica. Hemos de puntualizar, sin embargo, que no se presentan como propuestas a aplicar, sino como ejemplos de programación de actividades y tareas que han sido experimentados en las aulas, teniendo en cuenta los objetivos y las propuestas que hemos tratado de fundamentar en los capítulos precedentes.

Por ello, es preciso insistir en que, para que un programa de actividades sea realmente útil para un profesor o, mejor, un equipo de profesores, éste ha de participar en su diseño o, cuanto menos, ha de proceder a un serio trabajo de apropiación del mismo, con las consiguientes modificaciones que ello comportará. La metáfora del estudiante como "investigador novel" conlleva la del profesor como "investigador experto". No es posible, en definitiva, plantear el aprendizaje como una investigación si la enseñanza no responde también a esta orientación investigativa, a un trabajo colectivo de investigación e innovación. Invitamos, pues, a analizar críticamente los programas de actividades que presentamos en los capítulos que siguen.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado originalmente para este libro.

Referencias bibliográficas en este capítulo

ARONS, A. B. (1988). Historical and philosophical perspectives attainable in introductory physics courses. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 13-23.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria.* Barcelona: ICE/ HORSORI.

GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., GUISASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., ALONSO, M., CARBONELL, F., CARRASCOSA, J., DOMÉNECH, J. L., DOMÉNECH, A., DOMÍNGUEZ, A., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (1999). *Física y Química de 4º de E. S. O. ("El movimiento de todas las cosas")*. Alicante: Aguaclara.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MARTÍNEZ SEBASTIÁ, B. y GIL-PÉREZ, D. (2003). La universidad como nivel privilegiado para un aprendizaje por investigación orientada, En Monereo, C. y Pozo, J. I. (Eds.), *La Universidad ante la nueva cultura educativa. Enseñar y aprender para la autonomía*. Barcelona: Síntesis.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (1999). La luz y la visión en la Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Educación Abierta. Aspectos Didácticos de Física y Química*, 8, 69-101.

NOVAK, J. D. (1991). Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender, *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), 215-228.

OSUNA, L. (2001). La planificación de una estructura problematizada para la enseñanza de la "La luz y la visión" en la ESO. Análisis de la relevancia de los objetivos propuestos y obstáculos previsibles. Tesis de Maestría. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universitat de València.

POZO, J. I., GÓMEZ, M. A., LIMÓN, M. y SANZ, A. (1992). *Procesos cognitivos de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la Química.* CIDE, MEC, Colección Investigadora.

VERDÚ, R. (2004). La estructura de los temas y cursos como problema: un instrumento de ayuda al aprendizaje de la Física y la Química, Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universitat de València.

VERDÚ, R., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y OSUNA, L. (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada, *Alambique.* 34, 47-55.

Figura 2.

ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DEL TEMA:
"¿CÓMO VEMOS? ¿CÓMO PODEMOS VER MEJOR?"

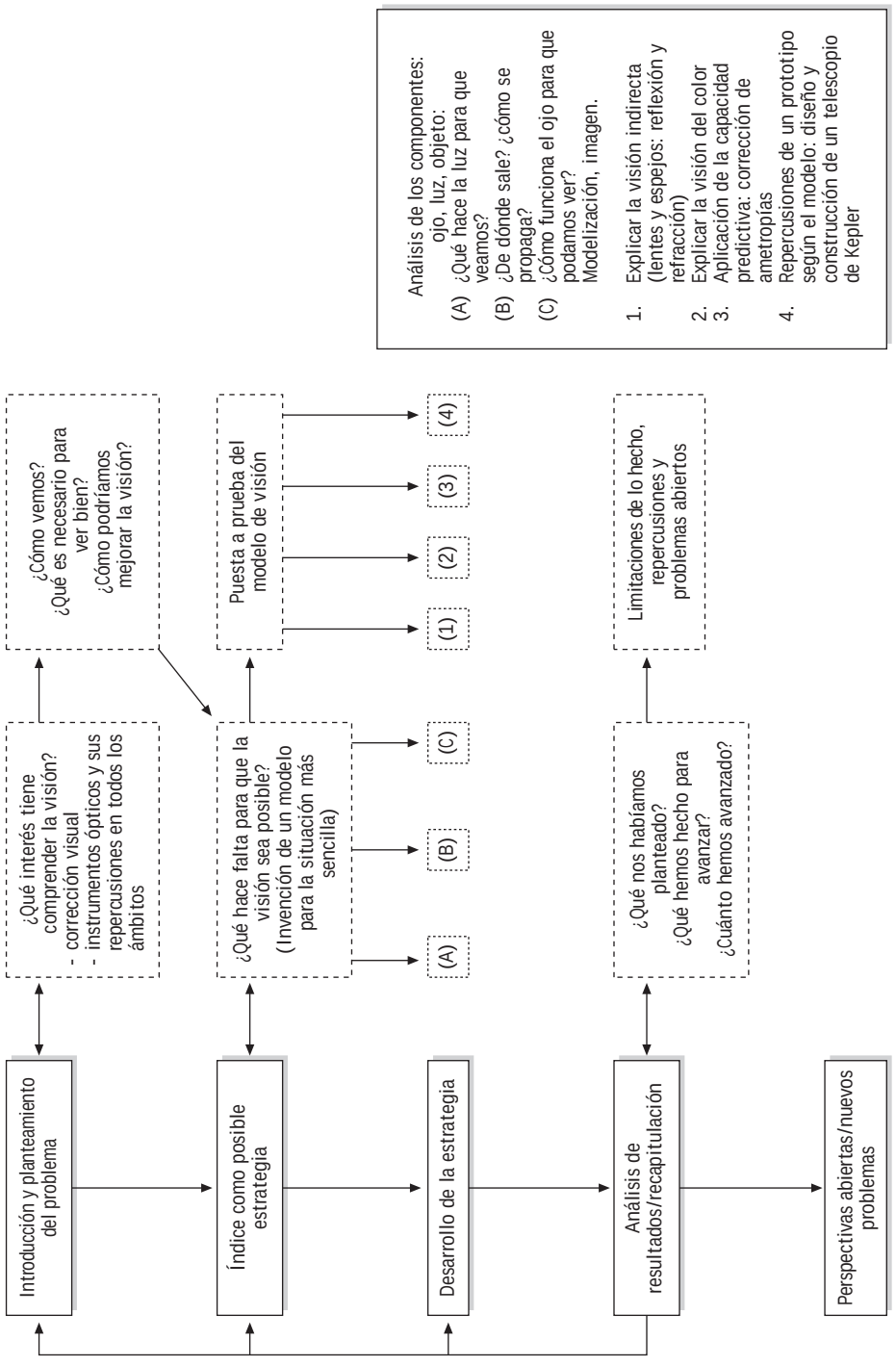
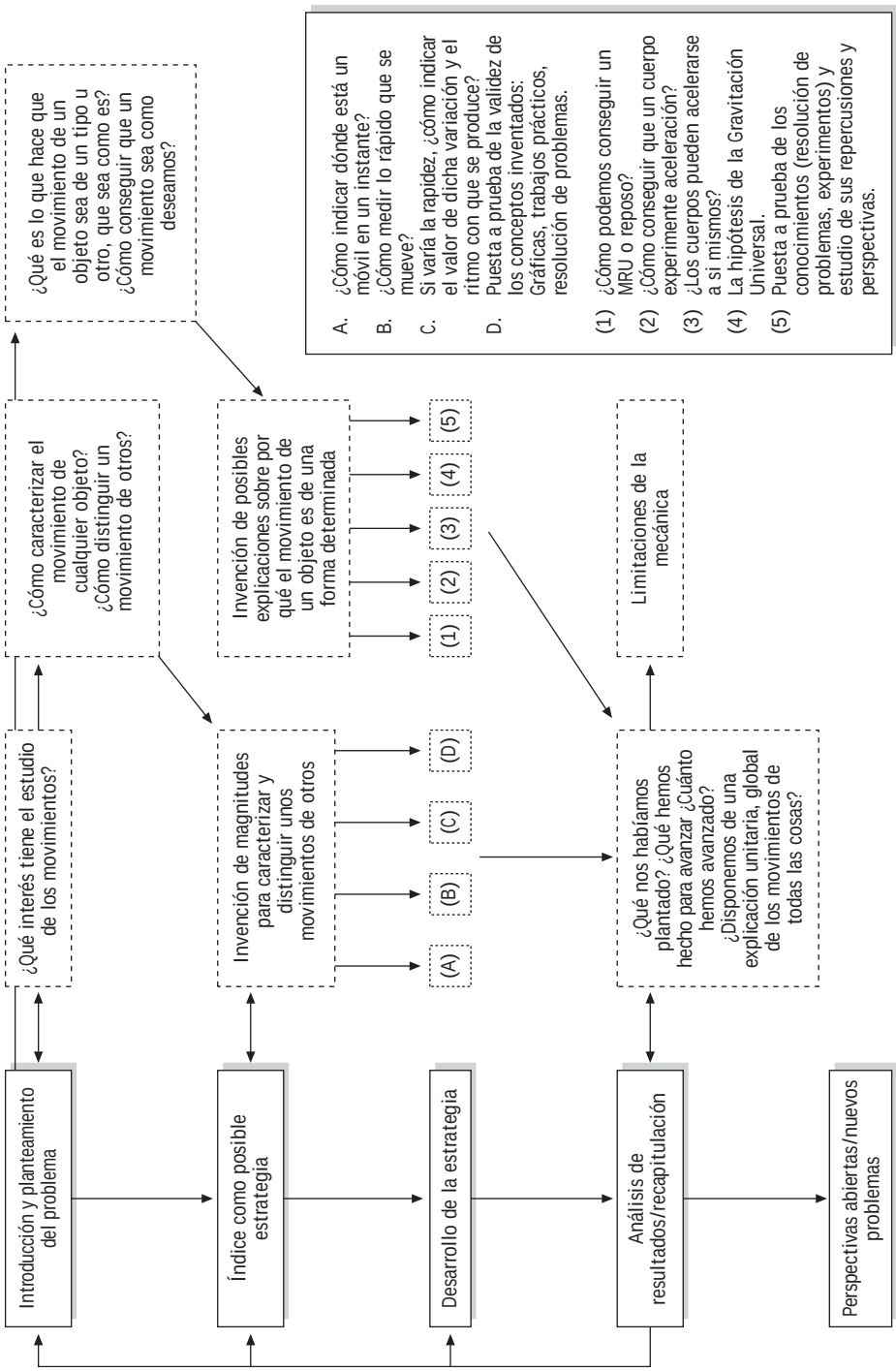


Figura 3.

ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DE LA MECÁNICA: "¿QUÉ HACE QUE LOS CUERPOS SE MUEVAN COMO LO HACEN?"



Capítulo 10

¿Cómo profundizar en el estudio de los cambios que ocurren a nuestro alrededor?

Introducción de los concepto de energía y trabajo

Josep LIuís Doménech, Daniel Gil Pérez, Joaquín Martínez Torregrosa y Pablo Valdés

Comentarios preliminares. Planteamos en este programa de actividades la profundización en el estudio de los cambios (Gil et al., 1991). Un estudio que se inició con la descripción de uno de los cambios más sencillos –el desplazamiento de los cuerpos– y la introducción de conceptos como el de interacción. La profundización que ahora iniciamos permitirá introducir magnitudes como trabajo y energía que, como sabemos, se revelaron de una extraordinaria fecundidad para el estudio científico y tecnológico de todo tipo de transformaciones.

INTRODUCCIÓN

Como hemos constatado en temas anteriores, el concepto de fuerza (establecido por los tres principios de la dinámica de Newton) permite explicar los cambios de movimiento experimentados por los objetos. Pero, además de los movimientos, ocurren muchas otras transformaciones en la naturaleza, y su estudio ha conducido a la introducción de nuevas magnitudes que han permitido profundizar en la comprensión y aprovechamiento de los cambios.

A.1. Pongan ejemplos de cambios, de transformaciones, que ocurren en la naturaleza y sugieran por qué puede ser interesante su estudio.

Comentarios A.1. Aunque inicialmente los alumnos pueden hacer contribuciones escasas, si se insiste y se valoran esas primeras aportaciones, poco a poco se incrementa su productividad y acaban mencionando un sinfín de ejemplos que les hacen comprender el interés del estudio de los cambios: desde los que se producen "espontáneamente" en la naturaleza (como terremotos, erupción de volcanes, erosiones... o el crecimiento de los seres vivos) hasta los que producimos los seres humanos, como árboles transformados en muebles o en papel, petróleo en plásticos o medicinas, trigo en pan... , sin olvidar la transformación de bosques en desiertos, por culpa de la deforestación irracional, de ríos en cloacas, por la falta de responsabilidad de empresas y gobiernos en el control de lo que en ellos se vierte, etc. De esta forma se comprende el interés por conocer la naturaleza de los cambios, cómo producir algunos y cómo controlar o evitar otros.

La atención a la gran diversidad de cambios que tienen lugar en la naturaleza no debe dejar en la sombra una concepción muy presente en la tradición cultural y, como hemos podido constatar, entre los propios alumnos: la de que hay cosas inmutables.

Se podría pensar que estamos dando excesiva importancia a la idea de cambio, de transformación. Conviene, pues, que nos planteemos la siguiente actividad:

A.2. Propongan ejemplos de cosas que se podrían considerar inmutables, es decir, que permanezcan siempre iguales.

Comentarios A.2. Como es lógico, esta actividad pretende cuestionar la idea misma de objeto inmutable, reforzando así aún más la importancia del estudio de los cambios. Cabe mencionar la creencia habitual en el carácter inmutable de los cielos, que puede cuestionarse con referencias a la "historia" del universo, marcada por transformaciones muy profundas, como el "big bang", el nacimiento y muerte de las estrellas, etc., sin olvidar algunas tan próximas y de efectos tan notables sobre la vida en la Tierra como el choque de meteoritos o las tormentas solares.

En ocasiones, los estudiantes se refieren también a las rocas como objetos inmutables. Interesa, entonces, discutir lo que representa la erosión y referirse a cómo el agua, el viento o las raíces de las plantas reducen esas rocas a polvo.

Menos frecuentes, pero aún más interesantes, son las referencias al hecho de que los animales "sean siempre iguales", es decir, que "los perros siempre engendran perros y los caballos, caballos". Ya sabemos que esta idea de la inmutabilidad de las especies ha sido una creencia común, apoyada por las apariencias, hasta el punto de que los trabajos de Darwin sobre la evolución de las especies fueron rechazados por la Iglesia e incluidos en el *Índex Librorum Prohibitorum*. La discusión de hechos

como éstos puede ser una magnífica ocasión, tanto para reforzar la importancia de la idea de cambio como para insistir en la complejidad de las relaciones CTSA y en la importancia de la libertad para el desarrollo científico.

A.3. Diseñen una exposición para poner de relieve las ventajas e inconvenientes de algunos de los cambios que tienen lugar en la naturaleza y, en particular, los que provocamos las personas (utilizando todo aquello que consideren conveniente preparar o recoger: carteles, fotos, maquetas, recortes de prensa, objetos ilustrativos...). Dicha exposición podrá ser visitada por estudiantes y profesores de otros cursos y centros.

Comentarios A.3. La idea de una exposición *pública* introduce una fuerte motivación, puesto que la actividad deja de ser un simple ejercicio escolar para convertirse en la elaboración de un *producto*, destinado al consumo real de otras personas (visitantes de la exposición). Naturalmente, no se puede abusar de actividades como ésta, que exige bastante trabajo. Pero es importante recurrir en alguna ocasión a las mismas y esta introducción al estudio de los cambios puede ser una excelente oportunidad, al igual que al finalizar el tema a modo de recapitulación.

Es importante que esta exposición contribuya a hacer comprender que nuestras acciones –y, muy en particular, las de la ciencia y la tecnología– tienen efectos que deben ser sopesados y sometidos responsablemente al "principio de prudencia". Es preciso a este respecto evitar cualquier reduccionismo acerca del papel de la tecnociencia, y no dejarle caer en su exaltación acrítica como factor absoluto de progreso, ni en hacerle responsable casi en exclusiva de la degradación de las condiciones de vida en el planeta. Nos remitimos a este respecto a lo discutido en los tres primeros capítulos, acerca del tratamiento superficial de las relaciones CTSA

Una vez los alumnos han discutido la importancia del estudio de los cambios están preparados para abordar dicho estudio, apoyándose en sus vivencias y concepciones, que es preciso hacer aflorar y valorar como útil (e inevitable) punto de partida si se contemplan como conjeturas destinadas a ser puestas a prueba (y a modificar en caso necesario) y no como "verdades" a defender, lo que las convertiría en obstáculo a la construcción de nuevos conocimientos.

A continuación, conviene que expongamos nuestras ideas y suposiciones acerca de cómo ocurren los cambios, sobre todo los que provocamos las personas. No debe preocuparnos que esas ideas sean inicialmente confusas y poco seguras (de hecho, esto es algo que les suele ocurrir también a los propios científicos al inicio de cualquier tarea), ya que su discusión constituirá un valioso punto de partida para el estudio que ahora comenzamos.

A.4. ¿Qué suponen hace falta para conseguir que un objeto experimente algún cambio?

Comentarios A.4. Una actividad como ésta conduce a un confuso manejo de las ideas comunes de trabajo, calor, esfuerzo, cansancio, consumo de energía... Esta confusión no debe extrañarnos ni ser rechazada: hemos de tener en cuenta que conceptos como los de trabajo o energía, que se encuentran entre los más fecundos de la física, hasta hace apenas un siglo aún no se habían formulado de manera precisa. Debemos valorar, pues, estas confusas referencias y tomarlas *explícitamente* como punto de partida para el desarrollo del tema.

Se puede indicar a los alumnos que vamos a profundizar en las ideas a las que han hecho referencia, comenzando por las de trabajo y de energía, y que abordaremos en el siguiente tema el estudio de los fenómenos caloríficos. Esto nos permitirá, como podrán ver, construir conocimientos que serán muy útiles para la comprensión y el control de las transformaciones.

De acuerdo con lo discutido, el estudio de esta problemática se desarrollará en cuatro unidades. La primera de ellas, que abordamos en el presente capítulo, estará destinada a la **introducción de los conceptos de trabajo y energía** y tendrá el siguiente contenido:

- Una primera concepción cualitativa del trabajo y de la energía.
- Operativización de los conceptos de trabajo y energía para el estudio de las transformaciones más sencillas: los movimientos mecánicos.
- Recapitulación y perspectivas: ¿qué ocurre con la energía cuando un sistema experimenta cambios?

En la segunda nos ocuparemos del **estudio de los fenómenos caloríficos**, cuya relación con la producción de cambios se conoce desde los orígenes de la humanidad. Ello permitirá, como veremos, profundizar en el conocimiento de la energía y mostrar cómo los estudios sobre el calor, el trabajo y la energía se potenciaron mutuamente y abrieron perspectivas tecnológicas de enorme trascendencia.

En la tercera se estudia el **papel de la energía en nuestras vidas**, viendo los usos de la misma a lo largo de la historia, desde las primeras formas de producir cambios hasta las tecnologías actuales.

Por último, incluiremos una unidad destinada a **las fuentes de energía** y a los problemas asociados a su obtención y uso.

De estas cuatro unidades únicamente incluiremos en este libro, por razones de espacio, la primera, como ilustración de nuestra propuesta, muy particularmente de la introducción de conceptos (a la que destinamos este capítulo 10), y la última, sobre fuentes de energía, que aborda aspectos apenas tratados habitualmente, pero que consideramos fundamentales para la formación de ciudadanas y ciudadanos capaces de participar en la toma fundamentada de decisiones en las que se juega el futuro de la humanidad.

1. UNA PRIMERA CONCEPCIÓN CUALITATIVA DEL TRABAJO Y DE LA ENERGÍA

Dedicaremos este apartado a *construir el significado científico* de algunos conceptos que acabamos de mencionar, como trabajo y energía, que *intuimos* pueden constituir un buen punto de partida para profundizar en el estudio de los cambios.

A.5. Entre las ideas propuestas con relación al origen de los cambios está la de realización de trabajo. Indiquen diversos ejemplos de lo que entienden por trabajo en la vida cotidiana y propongan una idea cualitativa de trabajo que funcione en estas situaciones.

Comentarios A.5. Digamos de entrada que esta actividad permite superar las habituales introducciones puramente operativas, carentes del significado físico que proporciona, precisamente, la discusión cualitativa. Como en tantos otros casos, esta

discusión permite conectar con las ideas que los alumnos ya tienen, apoyarse en algunas de ellas y cuestionar otras, siempre tratando de superar la ambigüedad con que solemos manejar los conceptos de trabajo y energía en el lenguaje corriente. En este caso aparecen nuevamente las ideas de cambio ("se trabaja para lograr algo, para conseguir una transformación...") y de fuerza ("el trabajo exige esfuerzo, es preciso hacer fuerza..."). Tras la puesta en común se puede llegar así al concepto cualitativo de trabajo como "la transformación de la materia por la acción de fuerzas" o cualquier expresión semejante que expresa con bastante propiedad una primera idea cualitativa de trabajo, tal como fue enunciada por el mismo Maxwell en su libro *Matter and Motion* (Maxwell, 1877).

Para profundizar en esta concepción cualitativa de trabajo abordaremos una situación particularmente interesante.

A.6. ¿Hace trabajo una persona que está empujando una pared (sin llegar a derrumbarla)?

Comentarios A.6. Resulta obvio que el muro no sufre transformaciones apreciables cuando una persona lo empuja, por lo que puede concluirse que, pese al indudable esfuerzo que realiza quien empuja la pared, no se efectúa trabajo. Ello permite insistir en las diferencias entre esfuerzo y trabajo. Sin embargo, es necesario matizar esta conclusión, porque la impresión de estar realizando trabajo que los alumnos tienen cuando empujan una pared o sostienen un objeto pesado no es totalmente errada: el propio sujeto que soporta al objeto experimenta transformaciones (su corazón va más aprisa, transpira, "se queda sin energía"...). Así pues, no se realiza trabajo sobre la pared, pero sí lo realizan unas partes del cuerpo sobre otras.

Se entiende así que la comprensión del concepto no puede lograrse sin profundizar más en el mismo y sin tener en cuenta sus relaciones con el concepto asociado de energía, al que se refieren también los alumnos desde el primer momento. De hecho, existe una polémica sobre la conveniencia de comenzar introduciendo el concepto de trabajo antes del de energía o viceversa (Sexl, 1981; Duit, 1986; Warren, 1982). En nuestra opinión, es preferible una introducción prácticamente simultánea, puesto que se trata de dos conceptos estrechamente relacionados. Consideramos conveniente, pues, introducir ahora el concepto cualitativo de energía antes de pasar al tratamiento cuantitativo de la magnitud trabajo

A.7. Expongan las ideas cualitativas que posean acerca del concepto de energía.

Comentarios A.7. La idea de energía como "capacidad de un sistema para realizar trabajo" (o para transformar la materia, producir cambios, etc.) surge en la mayoría de los equipos. Si bien, como sabemos, esta idea de energía presenta serios problemas –como se ha señalado reiteradamente en la literatura (Duit, 1986; Pintó, 1991)–, hemos de ser conscientes de que nuestro objetivo no es establecer, desde un primer momento, las concepciones definitivas, o mejor dicho, las actualmente aceptadas como válidas por la comunidad científica; antes al contrario, pretendemos mostrar la evolución de las concepciones utilizadas conforme se han ido abordando situaciones más complejas. Pensamos que esta introducción de los conceptos hace más justicia a la manera como se construyen los conocimientos científicos y favorece que los estudiantes adquieran una visión dinámica del trabajo científico.

A.8. Con el propósito de constatar el significado que le damos habitualmente al término energía, consideren transformaciones familiares como, por ejemplo, un automóvil que se pone en movimiento, el calentamiento de una habitación por medio de una estufa eléctrica, etc., e interprétenlas utilizando la idea de energía.

Comentarios A.8. Se trata de una actividad que consideramos necesaria para comenzar a habituar a los estudiantes a utilizar la idea de energía para interpretar los cambios que tienen lugar a nuestro alrededor. De este modo, al considerar el ejemplo de un automóvil que se pone en marcha, los alumnos interpretan que ello se logra "gracias a la energía proporcionada por la gasolina". Y en el ejemplo de la habitación caldeada por una estufa hacen referencia a la "energía eléctrica". Surge así la conveniencia de abordar la cuestión de las diferentes formas de energía.

A.9. Elaboren una relación tan completa como les sea posible de formas distintas de energía que conozcan.

A.10. Indiquen, para cada una de las formas de energía consideradas, en qué puede estar basada su capacidad de transformar la materia.

Comentarios A.9. y A.10. Los alumnos enumeran toda una serie de supuestas formas de energía, mezcla de denominaciones usadas habitualmente y presentes en libros, prensa, etc., que en muchos casos corresponden a distintas *fuentes* de energía: hidráulica, eólica, química, nuclear, eléctrica, mecánica, calorífica, cinética, potencial, térmica, elástica, atómica, maremótica (o mareomotriz)... Resalta el desorden de esta enumeración, que la reflexión acerca de "en qué puede estar basada su capacidad para transformar la materia" debe contribuir a superar, haciendo ver el carácter cinético de algunas denominaciones (energía eólica, maremótica...) o el carácter potencial de otras (¡no sólo la potencial gravitatoria!). Así, cuando consideran la "energía del viento", su capacidad para, por ejemplo, moler grano, se refieren a que el aire "golpea a las aspas del molino haciéndolas girar, etc.". Esa energía está asociada, pues, a la interacción que puede producirse por el hecho de que una parte del sistema (el aire) se mueve con respecto a otra (las aspas del molino). Se habla por ello de *energía cinética*. En el caso de un muelle comprimido o en el de una piedra sostenida a cierta altura, cabe pensar que se trata de una energía almacenada, una energía que se encuentra en potencia. Ésta es la razón que nos lleva a hablar, en estos casos, de energía potencial: elástica, eléctrica y gravitatoria.

Por lo que se refiere a la llamada energía térmica o calorífica, conviene posponer su consideración al estudio de los fenómenos caloríficos y a la clarificación de la naturaleza del calor, que se realiza, como ya hemos indicado, en la siguiente unidad. Conviene insistir aquí en que todo ello resulta absolutamente imprescindible para la plena comprensión de los procesos energéticos y resaltar, asimismo, la importancia de abordar con detenimiento los problemas asociados a la obtención y uso de la energía que utilizamos (a lo que destinaremos toda una unidad).

Señalemos, por último, que hablar de distintas formas de energía puede reforzar su concepción sustancial, "como algo material que cambia de forma", lo que, como han señalado diversos autores (Ogborn, 1986; Trumper y Gorsky, 1993), constituye una concepción errónea muy extendida.

A.11. Algunas personas creen que la energía es una especie de sustancia, de combustible, que poseen los objetos y gracias a la cual pueden producir cambios. Expresen su opinión al respecto, considerando algún ejemplo concreto, como el de la energía eólica o el de un muelle comprimido.

Comentarios A.11. Los ejemplos propuestos permiten a los estudiantes empezar a cuestionar la idea sustancial de energía. Así, en el caso del viento, la capacidad de transformar la materia aparece asociada al hecho de que el aire golpea las aspas del molino haciéndolas girar. Es preciso insistir en que se deben asociar las distintas formas de energía (cinética, potencial gravitatoria, etc.) a diferentes configuraciones de los sistemas y a distintas formas de interaccionar de la materia. Con otras palabras, la diversidad de calificativos con que solemos acompañar al término energía nos indica la propiedad (o propiedades) del sistema que intervendrá (o puede intervenir) en un proceso determinado, o el tipo de proceso en que participará el sistema (Pintó, 1991; Resnick, Halliday y Krane, 1993; Kaper y Goedhart, 2002). Así, por mencionar otro ejemplo, decimos que una batería tiene energía eléctrica porque la separación de cargas de distinto signo en los polos dota al sistema de la capacidad de producir transformaciones cuando se habilita la posibilidad de circulación de cargas.

Los conceptos de energía y de trabajo que utilizamos para estudiar las transformaciones están muy relacionados entre sí, y pueden confundirse fácilmente si no hacemos un esfuerzo de clarificación.

A.12. A partir de las ideas cualitativas que sobre la energía y el trabajo hemos construido, sugieran la relación que cabe esperar entre el trabajo realizado por un sistema y la energía de que éste dispone.

Comentarios A.12. Esta actividad conduce a expresar la idea de que, al realizar trabajo, el sistema "consume energía" o, mejor, experimenta una variación de energía. Por supuesto, esta idea (que puede concretarse en una hipotética relación entre el trabajo W y las variaciones de energía ΔE: $W = \Delta E$) es aún muy imprecisa y habrá de ser profundizada y, en su momento, corregida. Pero de entrada permite expresar la estrecha relación entre ambas magnitudes concibiendo el trabajo como una forma de intercambio de energía sin caer, como de entrada hacen algunos estudiantes, en la mera identificación ($E = W$).

Conviene detenerse en clarificar la idea de variación evitando su asimilación a consumo.

A.13. A menudo se oye decir que la realización de trabajo supone consumo de energía, de manera que siempre que se realiza un trabajo hay una disminución de energía. Busquen algún contraejemplo que muestre cómo la realización de trabajo puede traducirse tanto en aumento como en disminución de energía, por lo que es mejor hablar, en general, de variación de energía.

Comentarios A.13. Cualquier ejemplo considerado por los estudiantes permite ver que cuando un sistema, o parte de un sistema, hace trabajo sobre otro, la energía de uno disminuye, pero la del otro aumenta. Así, al dispararse un muelle y hacer trabajo sobre un cuerpo, la energía "elástica" del muelle disminuye, pero el objeto adquiere energía cinética. En otros casos, como cuando cae una piedra, la energía

potencial gravitatoria disminuye, pero aumenta la cinética. Se comprende así la conveniencia de hablar, en general, de *variaciones* de energía, así como la necesidad de definir con precisión el sistema cuya variación de energía se contempla. Por otra parte, es necesario también evitar interpretaciones erróneas de expresiones como "conversión de energía potencial en cinética".

A.14. Indiquen qué hemos de entender al oír expresiones como "cuando soltamos un objeto desde una cierta altura, la energía potencial se convierte en cinética".

Comentarios A.14. Se trata de evitar interpretaciones sustanciales de la expresión "transformación de una forma de energía en otra". Ha de quedar claro que lo que tiene lugar es una modificación de la configuración del sistema: el objeto que cae se aproxima a la tierra, disminuyendo, por ello, la energía potencial gravitatoria del sistema, y lo hace acelerándose, lo que aumenta la energía cinética del sistema.

Esta referencia a la configuración del sistema y a las interacciones que pueden producirse es absolutamente necesaria, insistimos, para comprender *físicamente* lo que significa la energía, lejos de cualquier interpretación de la misma como una especie de combustible.

Es importante, además, dejar claro que la energía es una propiedad *del sistema*, no de objetos aislados. Cuando hablamos, por ejemplo, de la energía potencial gravitatoria de una piedra sabemos que es debida a la interacción entre la piedra y la tierra y, por tanto, pertenece al conjunto formado por los dos, y no sólo a la piedra. En el caso de un objeto aislado en el espacio, lejos de cualquier otro con el que poder interaccionar gravitatoriamente de manera apreciable, es obvio que no tiene sentido hablar de energía potencial gravitatoria. Como Mallinckrodt y Leff (1993) afirman, "la energía potencial surge siempre en el contexto de un par (o conjunto) de objetos que interaccionan, y, por tanto, no tiene ningún fundamento asignarla completamente a cualquiera de estos objetos".

Hay que insistir en este carácter sistémico *también* de la energía cinética, porque es algo a lo que no se hace referencia en la literatura (ni en los textos de física, ni en los trabajos de investigación) y que provoca, incluso, cierto rechazo inicial cuando se plantea la cuestión a los profesores. Es obvio, sin embargo, que sólo podemos hablar de la energía cinética de un objeto en la medida en que existen otros cuerpos con los cuales puede chocar. En efecto, la energía cinética expresa la capacidad del conjunto de objetos para que se produzcan cambios a causa, precisamente, de que unos se desplazan a una velocidad determinada respecto a otros. Se trata, en definitiva, de una *propiedad del sistema* constituido por ese conjunto de objetos.

Una vez elaborada una primera idea cualitativa sobre los conceptos de trabajo y de energía, y antes de continuar con nuestro estudio de los cambios, conviene hacer una recapitulación del trabajo realizado.

A.15. Sinteticen, a grandes rasgos, lo que hemos realizado hasta aquí, incluyendo un esquema en el que aparezcan los términos: objetos, cambios, trabajo, energía, fuerzas y sistemas.

Comentarios A.15. Con esta actividad pretendemos favorecer una recapitulación del trabajo realizado y evitar que los estudiantes se pierdan en un "bosque de actividades".

Se pueden retomar así las cuestiones iniciales, ver qué hemos avanzado, sacar a la luz y discutir las posibles confusiones que persistan con relación a las ideas introducidas, plantear cómo proseguir, etc.

Tras esta recapitulación del estudio cualitativo realizado hasta aquí, pasaremos a operativizar los conceptos de trabajo y energía.

2. OPERATIVIZACIÓN DE LOS CONCEPTOS DE TRABAJO Y ENERGÍA

Para que los conceptos de trabajo y de energía lleguen a ser plenamente útiles en el propósito de mejorar la comprensión de los cambios y hacer así posible su control, es necesario operativizarlos. En otras palabras, hemos de introducir expresiones que nos permitan hacer predicciones cuantitativas acerca de los cambios y proceder a su puesta a prueba. Empezaremos con la idea de trabajo.

2.1. Profundización en el concepto de trabajo. Invención de una expresión para su medida

Según la concepción cualitativa elaborada en el apartado anterior, podemos considerar que trabajo es la transformación de la materia mediante fuerzas. Con el propósito de intentar operativizar esta idea, nos centraremos inicialmente en los cambios más sencillos que tienen lugar en la naturaleza: aquellos en que los cuerpos simplemente se desplazan.

A.16. Limitándonos al dominio de las transformaciones mecánicas que venimos estudiando, propongan una definición operativa de trabajo basada en el concepto cualitativo que hemos establecido.

Comentarios A.16. La definición operativa $W = F/d$ que los alumnos proponen (y que conviene aceptar inicialmente, pese a sus limitaciones) aparece ahora como consecuencia del concepto cualitativo y así debe ser verbalizado por los alumnos, al menos en lo que se refiere a la inclusión de ambos factores (la fuerza F y el desplazamiento d, que mide el cambio producido). Pero la idea de una proporcionalidad directa reflejada en dicha expresión es una simple hipótesis de trabajo que debe ser profundizada, evitando así respuestas memorísticas (bastantes alumnos conocen sin duda la definición operativa, aunque probablemente nunca la hayan razonado); esto es lo que se persigue con la actividad A.17.

A.17. Analicen las expresiones siguientes y razonen en qué medida pueden ser consideradas definiciones operativas válidas de la magnitud trabajo:

a) $W = F/d$; b) $W = F + d$; c) $W = F/d^2$; d) $W = F/d$; e) $W = F \cdot t$

Comentarios A.17. Esta actividad obliga a centrarse significativamente en la forma en que F y d influyen. Así, los alumnos rechazan fácilmente la definición a) (que supondría realizar más trabajo cuanto menor fuera el desplazamiento) y la b) (tanto por lo absurdo de sumar magnitudes no homogéneas como porque según dicha expresión podría haber trabajo en ausencia de fuerza o de desplazamiento). Mayor dificultad presenta la c), pero los alumnos llegan a ver que según la misma, por

ejemplo, un labrador que trazara cuatro surcos habría trabajado 16 veces más que el que trazó un solo surco, lo que no responde, al menos intuitivamente, a lo que cabe suponer. Naturalmente, estas reflexiones cualitativas no "demuestran" la validez de una definición, aunque ayuden a concretar las hipótesis. Este carácter hipotético de las definiciones operativas debe ser resaltado: las definiciones no son ni arbitrarias ni constituyen el "descubrimiento" de algo presente en la naturaleza. Y, por supuesto, sólo la coherencia del cuerpo de conocimientos obtenido permite validarlas. Puede resultar interesante recordar aquí la definición clásica de fuerza como causa de la aceleración y proporcional a la misma (**F** = k**a**) que ha quedado refrendada por todos los resultados de la dinámica, mientras la definición "de sentido común" (**F** = k**v**) conduce a resultados absurdos.

A continuación proponemos una serie de actividades elementales para profundizar en la definición operativa introducida (haciéndola aplicable a las situaciones en que la dirección de la fuerza no coincide con la del desplazamiento) y a familiarizarse con la misma.

A.18. A partir de la definición operativa propuesta para el trabajo, definan su unidad en el SI. Propongan seguidamente ejemplos de situaciones en las que se realice trabajo (como subir una escalera, arrastrar una mesa, elevar a un compañero, etc.) y den una estimación de su valor en unidades internacionales.

Comentarios A.18. Hay que insistir aquí en la necesidad de evitar definiciones del Joule del tipo "1 N x 1 m", carentes de todo significado. Al insistir, los alumnos llegan a proponer una definición más física como "1 Joule es el trabajo efectuado cuando actúa una fuerza de 1 N sobre un cuerpo que se desplaza 1 m en la dirección y sentido de dicha fuerza".

Reiteramos, por otra parte, que la consideración de ejemplos concretos es muy conveniente para familiarizar a los alumnos con estimaciones reales. Determinar el trabajo en las situaciones propuestas o en otras cotidianas, como elevar una maleta a una altura dada o un ascensor a un piso determinado, podrán contribuir también a entender más adelante la relación del trabajo con la energía potencial.

Una vez disponemos, aunque a título de hipótesis, de una definición operativa para la magnitud trabajo, pasaremos a utilizarla en algunas situaciones concretas, a fin de profundizar en su significado y en su validez.

A.19. En numerosas ocasiones, la fuerza que actúa sobre un cuerpo no lleva la dirección del desplazamiento. Consideren algunos ejemplos en que ello ocurra y discutan si la definición operativa de trabajo introducida es válida en esos casos o debe ser modificada.

Comentarios A.19. Con esta actividad se trata de favorecer la generalización del concepto de trabajo. Particular atención hay que prestar a la confusión relativamente frecuente consistente en suponer que una fuerza "hace más trabajo" si no lleva la dirección del desplazamiento.

Conviene, además, utilizar distintas formas para expresar el trabajo (fundamentalmente en función de las fuerzas tangenciales F_t o haciendo aparecer el coseno), lo que ayudará, sin duda, a profundizar en el significado de este concepto. Y puede

ser conveniente contemplar las situaciones en que la fuerza varía (al menos, para fijar el campo de validez de las expresiones introducidas).

A.20. Calculen el trabajo hecho por la fuerza F sobre los objetos representados en la figura, teniendo en cuenta que la magnitud de la fuerza es de 10 N y el desplazamiento de 2 m. Interpreten los resultados.

Comentarios A.20. Esta actividad produce algunas discusiones interesantes en torno a cuestiones como "¿tiene sentido un trabajo negativo?", o "¿cómo puede ir el cuerpo hacia adelante si la fuerza actúa hacia atrás?", que revelan el peso de las preconcepciones que asocian fuerza y movimiento.

A.21. Una niña arrastra un trineo mediante una cuerda que forma un ángulo de 30º con la vertical. Si la tensión de la cuerda es de 50 N, ¿cuánto trabajo hará cuando lo desplace 8 m?

Comentarios A.21. Con el fin de seguir profundizando en el concepto de trabajo, puede ser interesante la realización de una actividad como la que se propone. En este caso, es necesario conocer, a partir del ángulo que forma la cuerda, el valor de la componente de la fuerza en la dirección del movimiento del trineo para poder calcular el trabajo realizado. A la vez, si el profesor lo considera adecuado, puede permitir discutir el valor de la fuerza de fricción y también de la fuerza normal que ejerce el suelo sobre el objeto, que en este caso no es equivalente al peso debido a que existe una componente de la tensión de la cuerda en la dirección vertical que, junto con la normal, equilibran el peso del trineo. Se contribuye así a salir al paso de la fijación funcional que conduce a asignar sistemáticamente a la fuerza normal el valor del peso del objeto.

Cuando se habla de trabajo no podemos ignorar que su realización está asociada, en demasiadas ocasiones, a situaciones de explotación que atentan a derechos fundamentales. Ése es el caso, por ejemplo, del trabajo infantil. Merece la pena, pues, incluir alguna actividad que pueda dar pie a debatir esta cuestión.

A.22. En algunos países, los niños y las niñas continúan siendo utilizados como mano de obra barata para trabajos que exigen una escasa cualificación como, por ejemplo, poner a secar baldosas. Supongan que en esta tarea los niños han de levantar baldosas de 3 kg y colocarlas en plataformas situadas a 60 cm de altura. ¿Cuánto trabajo realizará al día un niño que levanta una media de 5 baldosas por minuto durante 14 horas? Comenten los resultados.

Comentarios A.22. El comentario que interesa no está relacionado, por supuesto, con la cantidad de Joules que proporcionen los cálculos. En realidad, esta actividad está planteada para llamar la atención sobre el hecho real de que en numerosos países se esté utilizando a niñas y niños como mano de obra barata, casi en condiciones

de esclavitud (se puede utilizar información de UNICEF al respecto). Se trata de un tema relevante que permite abordar la cuestión del *derecho* de todos los niños y niñas a una educación adecuada. Esto es algo a lo que ya nos referimos en el capítulo 1 de este libro y que merece la pena discutir con los estudiantes, que no suelen ser conscientes de que hoy en día millones de niños y niñas siguen sin escolarizar, obligados a realizar trabajos de este tipo o a prostituirse y meterse en el mundo de la droga, etc. Conviene igualmente recordar que bastaría, según datos de Naciones Unidas, un porcentaje inferior al 3% de lo que se gasta al año mundialmente en armamento para resolver el problema (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

A.23. Lanzamos un objeto de 2 kg hacia arriba, sube 5 m y después cae. Calculen el trabajo realizado por la fuerza de la gravedad sobre el objeto en la subida, en la bajada y en el trayecto total.

Arrastramos ahora el mismo cuerpo, venciendo una fuerza de fricción de 2 N, desplazándolo 5 m con velocidad constante y regresando al punto de origen. Calculen, como en el caso anterior, el trabajo realizado por la fuerza de fricción en el viaje de ida, en el de vuelta y en el trayecto total.

Interpreten los resultados obtenidos en ambas situaciones.

Comentarios A.23. Esta actividad permite referirse a la idea de *fuerzas conservativas* (aquellas que, como ocurre en el caso de la gravedad, el trabajo total que realizan sobre un cuerpo, en una trayectoria cerrada, es nulo e *independiente del camino seguido*) y no conservativas (como la fricción). Se trata de conceptos que serán de gran utilidad para abordar posteriormente las relaciones trabajo/energía.

Hasta aquí hemos determinado el trabajo realizado sobre un sistema por una única fuerza. Vamos, seguidamente, a enfrentarnos a situaciones en las cuales interesa calcular el trabajo realizado por cada una de las fuerzas que actúan, así como el debido a la fuerza resultante.

A.24. Dos personas tiran de un objeto con fuerzas de 350 N y 200 N en la misma dirección, pero en sentidos opuestos. Calculen el trabajo realizado sobre el objeto por cada una de ellas, así como el total, cuando se haya desplazado 5 m en el sentido de la fuerza de 350 N.

A.25. Elevamos a 20 m un objeto de 15 kg mediante una fuerza vertical igual a su peso. Calculen el trabajo realizado sobre el objeto: a) por la fuerza de gravedad (fuerza conservativa, interior del sistema formado por el objeto y la tierra); b) por la persona (fuerza exterior al sistema); c) el trabajo total. Interpreten los resultados.

Comentarios A.24 y A.25. La primera actividad permite constatar que el trabajo total, cuando actúan varias fuerzas sobre un objeto, es la suma de los trabajos realizados por cada fuerza por separado, aunque también lo podemos calcular a partir de la fuerza resultante. La segunda permite introducir y diferenciar los conceptos de trabajo interior, W_{int} (trabajo de las fuerzas interiores del sistema), trabajo exterior, W_{ext} (trabajo de las fuerzas exteriores) y trabajo resultante W_{res}. Se trata de una distinción absolutamente necesaria, como se ve más adelante, para la correcta comprensión de las relaciones entre el trabajo y la energía.

A.26. Se ha de subir un tonel a un camión desde el suelo. Consideren cualitativamente cuándo se realiza más trabajo: al elevar directamente el tonel o al utilizar una rampa.

Comentarios A.26. En esta actividad los alumnos responden habitualmente que se hace menos trabajo subiendo el tonel por el plano inclinado, con lo que se pone en evidencia la confusión trabajo/esfuerzo y se puede así insistir de nuevo en el concepto cualitativo de trabajo (¿acaso la transformación lograda no ha sido la misma?) y en el error de considerar la variación de un único factor ("menos fuerza, menos trabajo"), olvidando el otro (el desplazamiento ha sido mayor). Resulta sencillo calcular el trabajo realizado por ambos caminos (mgh en los dos casos), lo que permite de nuevo confirmar que el trabajo realizado, cuando se trata de fuerzas conservativas, es independiente del camino o trayectoria seguida y sólo depende de las posiciones inicial y final.

A.27. Realicen las consideraciones cualitativas pertinentes acerca del trabajo realizado durante el giro de la Luna alrededor de la Tierra.

Comentarios A.27. Esta actividad está introducida para, una vez más, afianzar la relación cualitativa entre trabajo y energía (que por supuesto no varía durante el giro de la Luna) y, al propio tiempo, insistir en que si las fuerzas son perpendiculares a la trayectoria no realizan trabajo.

En muchas ocasiones de la vida cotidiana no interesa tanto el trabajo como la rapidez con que éste se realiza. Abordaremos esta cuestión en las siguientes actividades:

A.28. Propongan una definición operativa de una magnitud que mida la mayor o menor rapidez con que se realiza el trabajo.

Comentarios A.28. La mayoría de los grupos parte de la idea de que, por ejemplo, una máquina eficaz es la que realiza mucho trabajo en poco tiempo, lo que conduce directamente a introducir de una manera significativa la relación $W/\Delta t$, es decir, la rapidez en la realización de trabajo, como medida de la *potencia.* Conviene señalar, sin embargo, que se trata de un planteamiento que deja de lado el aspecto "calidad", es decir, se supone que el producto obtenido es el mismo, independientemente de la rapidez con que se elabora.

Por otra parte, en este caso (al igual que en algunas situaciones de las analizadas anteriormente) algunos alumnos pueden dar una respuesta directa, atendiendo a que ya tienen un conocimiento previo del tema. En esta situación, conviene proceder a un proceso de clarificación, que haga salir a la luz si lo propuesto se corresponde con una clara concepción del concepto de potencia o a la reproducción de una fórmula vacía de contenido físico.

A.29. Definan la unidad, en el SI, de la magnitud introducida.

A.30. Den estimaciones aproximadas del valor de la potencia para algunas situaciones reales (motor de ascensor, persona subiendo escalera, ...).

A.31. *A men*udo, el consumo de energía eléctrica se expresa en kWh (kilovatios-hora). Den una definición de esta unidad y calculen su equivalencia con el Joule.

A.32. ¿Qué ventajas e inconvenientes puede presentar un automóvil de más potencia frente a otro de menos potencia?

A.33. Estimen el consumo energético de un mes en sus casas. Sugieran igualmente cómo se podría reducir dic*ho consumo.*

Comentarios A.29 a A.33. Con estas actividades se pretende profundizar en el concepto de potencia y su relación con el trabajo. En primer lugar, dando un sentido físico a su unidad, y habituando a los estudiantes a estimar órdenes de magnitud en el caso de la potencia de máquinas conocidas por su utilización en la vida cotidiana. A.31 trata de salir al paso del error frecuente de pensar que el kWh es una unidad de potencia, determinando a la vez su relación con el Joule. La A.32 permite un debate en torno al tema de la potencia de los vehículos que si bien presentan la ventaja de realizar la misma transformación en menos tiempo (por ejemplo, un adelantamiento, frenar ante un obstáculo o cualquier imprevisto), lo que aumenta la seguridad, tiene el inconveniente de un mayor consumo (y peligro de accidentes, si se conduce a velocidades altas). Esta discusión, junto con la que se propone en la siguiente actividad, permite abordar el tema del consumo energético, del hiperconsumo en los países desarrollados, de la contaminación ambiental que provocan, y de los problemas que su agotamiento creará a las futuras generaciones, por la imposibilidad de obtención de materias primas a partir del petróleo, así como por las desigualdades que subsisten en la distribución del consumo de energía en el mundo (Vilches y Gil-Pérez, 2003), etc. Son aspectos que se abordarán con mayor profundidad en la unidad dedicada a las fuentes de energía (que incluimos en el capítulo 11), pero que conviene que sean tratados siempre que sea posible.

2.2. Profundización en el concepto de energía. Invención de expresiones para su tratamiento cuantitativo

Hasta aquí hemos introducido una idea cualitativa de energía como capacidad para realizar trabajo y se ha sugerido, a modo de conjetura aún muy imprecisa, una relación entre trabajo y variación de energía, $W = \Delta E$. Sabemos, sin embargo (ver actividad A.25), que podemos hablar de distintos tipos de trabajo: el realizado por las fuerzas exteriores, el realizado por las fuerzas interiores y el realizado por la fuerza resultante. Por otra parte, podemos estar interesados en las variaciones de energía cinética, de energía potencial o de la energía total. La expresión $W = \Delta E$ debe, pues, ser precisada según las situaciones abordadas. Éste es el objetivo de las actividades que siguen.

A.34. Admitiendo que ΔE represente la variación de energía total de un sistema físico, ¿qué significado habría que dar -siempre a titulo de hipótesis- a W en la relación $W = \Delta E$?:

a) el trabajo de las fuerzas exteriores al sistema;

b) el trabajo de las fuerzas interiores conservativas;

c) el trabajo de la fuerza resultante.

Razonen cualitativamente la respuesta a partir de algún ejemplo concreto (por ejemplo, el de levantar un cuerpo tirando de él hacia arriba con una fuerza igual a su peso.

A.35. Consideremos algunas situaciones como las siguientes:
- levantar un objeto;
- acercar dos cuerpos electrizados con cargas del mismo signo;
- tensar un arco.
¿Cómo es la variación de energía potencial en cada uno de estos casos? (indiquen si aumenta o disminuye). ¿Y el trabajo realizado por la fuerza interior del sistema? (indiquen si es positivo o negativo).
¿Qué ocurre con la energía potencial, cuando dejamos caer el cuerpo, soltamos el arco, etc.? ¿Cómo es ahora el trabajo de las fuerzas del sistema?

Partiendo de estos ejemplos establezcan, a modo de hipótesis, la relación entre el trabajo realizado por las fuerzas interiores (gravitatorias, eléctricas o elásticas) y la variación de energía potencial asociada al sistema.

A.36. Recuerden qué fuerza hay que considerar para determinar los cambios de movimiento de un cuerpo. Según ello, ¿qué trabajo (interior, exterior o resultante) habrá de relacionarse con las variaciones de la energía cinética? Expresen dicha relación a modo de hipótesis.

A.37. Utilicen las relaciones entre el trabajo y la energía concebidas en las actividades anteriores y el hecho de que, lógicamente, el trabajo resultante ha de ser la suma del interior más el exterior para obtener la variación de la energía total en función de las variaciones de la energía potencial y de la cinética.

Comentarios A.34 a A.37. Las relaciones entre el trabajo y la energía no suelen presentarse con claridad ni siquiera en muchos textos universitarios. Sin embargo, las actividades propuestas permiten a los alumnos intuir, en primer lugar, que la variación de energía total que experimenta un sistema ha de relacionarse con las acciones exteriores ($W_{ext} = \Delta E_T$); que, por otra parte, cuando las fuerzas conservativas de un sistema actúan "libremente" (es decir, cuando el W_{int} es positivo) se produce una disminución de la energía potencial, lo que puede expresarse $W_{int} = -\Delta E_p$; por último, partiendo del hecho de que los cambios de velocidad están relacionados con la fuerza resultante, los alumnos pueden establecer, siempre a título de hipótesis, que $W_{res} = \Delta E_c$. Llamamos la atención sobre el hecho de que no todas las fuerzas interiores de un sistema son conservativas, pero la expresión $W_{int} = -\Delta E_p$ corresponde únicamente, claro está, a fuerzas interiores que sean conservativas.

La actividad A.37 muestra la coherencia de las tres relaciones trabajo/energía introducidas, lo que supone un indudable apoyo a su validez (pensemos que han sido introducidas como hipótesis independientes). Pero, una vez más, hay que insistir en que sólo la coherencia de todo el edificio teórico desarrollado y su adecuación para predecir y dar cuenta de los hechos pueden validar las definiciones introducidas y las relaciones hipotetizadas.

Hasta aquí hemos introducido de manera intuitiva las relaciones entre el trabajo realizado y las variaciones de energía que tienen lugar. Seguidamente profundizaremos en estos conceptos y relaciones, pasando a un tratamiento cuantitativo y contrastando su validez en la resolución de los problemas prácticos.

A.38. Indiquen, a título de hipótesis, de qué factores dependerá la energía cinética de un objeto que está en movimiento respecto de otros, y con los cuales puede chocar. Señalen igualmente algunos ejemplos del interés que puede tener conocer y controlar esta forma de energía.

A.39. Utilicen la relación $\Delta E_c = W_{res}$ para obtener una expresión para la energía cinética de un objeto en función de los factores de los cuales se considera depende (expresando el trabajo en función de estos factores).

Comentarios A.38 y A.39. En lo que se refiere al interés de conocer y controlar la energía cinética, los estudiantes hacen referencia a los molinos de viento e hidráulicos, a los arietes, etc., así como al poder destructor de los proyectiles o choques de vehículos. También les resulta fácil señalar, apoyándose en observaciones cualitativas, la influencia de la masa y de la velocidad en la energía cinética. Ello permite orientar el trabajo solicitado en A.37: se trata de utilizar la relación $W_{res} = \Delta E_c$ desarrollando W_{res} hasta que quede en función de la masa y las velocidades inicial y final. Así, si suponemos que la fuerza resultante es constante, los estudiantes pueden realizar dicho desarrollo de forma muy elemental, escribiendo el trabajo como el producto de la fuerza por la distancia, la fuerza como el producto de la masa por la aceleración, la aceleración como $\Delta v/\Delta t$ y tener en cuenta, finalmente, que $d/\Delta t$ es la velocidad media $(v_2 + v_1)/2$. Consiguen así que todo aparezca en función de m, v_2 y v_1:

$\Delta E_c = W_{res} = F_{res}. d = m(\Delta v/\Delta t).d = m (v_2 - v_1). d/\Delta t = m (v_2 - v_1). v_m = m (v_2 - v_1). (v_2 + v_1)/2$

lo que conduce a la conocida expresión $\Delta E_c = 1/2mv_f^2 - 1/2mv_i^2$. Como vemos, plantear actividades de pensamiento divergente, en las que los estudiantes deben enunciar hipótesis y someterlas a prueba, es relativamente simple y extraordinariamente útil para hacer posible un aprendizaje significativo, lo que hace aún más inexplicable su práctica ausencia de los textos usuales.

Es importante insistir en que, aunque se habla de la "energía cinética de un objeto", esta energía expresa la capacidad de un sistema de objetos para producir y experimentar cambios a causa, precisamente, de que unos se desplazan *respecto a otros* y se pueden producir choques entre ellos.

Conviene hacer notar que no es posible determinar el valor absoluto de la energía de un sistema; sólo podemos determinar sus variaciones cuando tiene lugar un determinado *proceso*, de ahí que siempre aparezcan incrementos de energía ΔE.

A.40. Sobre un cuerpo de 60 kg, inicialmente en reposo, actúa una fuerza de 300 N a lo largo de 10 m. ¿Qué velocidad adquirirá?

Comentarios A.40. Se trata de un sencillo ejercicio que permite mostrar que la utilización de la expresión $W_{res} = \Delta E_c$ (siendo $\Delta E_c = 1/2mv_f^2$ si el cuerpo parte del reposo) conduce al mismo resultado (10 m/s), que se obtiene determinando la aceleración y aplicando las ecuaciones de la cinemática. Ejercicios como éste se convierten en apoyos de la validez de las relaciones trabajo/energía cinética introducidas a título de hipótesis. Dedicaremos por ello un apartado a mostrar la validez del conjunto de conocimientos introducidos, así como el interés práctico de su manejo.

A.41. ¿Qué consecuencias puede tener, en caso de choque, que la masa de un vehículo se duplique? ¿Y que lo haga la velocidad?

Comentarios A.41. Una pequeña discusión a este respecto permite comprender que las posibilidades de destrozo son dobles en el caso de duplicar la masa y cuádruples si se duplica la velocidad. Se puede dar entrada así a cuestiones de educación vial, justificando las limitaciones de velocidad o de número de viajeros que incluyen las normas regulatorias de circulación de cada país.

Intentaremos ahora obtener una expresión operativa para las variaciones de energía potencial, centrándonos aquí únicamente en la energía potencial gravitatoria del sistema constituido por la tierra y un objeto situado en sus proximidades.

A.42. Indiquen los factores que podemos esperar que influyan en la energía potencial gravitatoria de un sistema objeto-tierra, cuando el objeto se encuentra a una cierta altura de la superficie terrestre. Señalen igualmente algunos ejemplos del interés que puede tener conocer y controlar esta forma de energía.

A.43. Conciban una estrategia para obtener la expresión de las variaciones de la energía potencial gravitatoria en función de las variables consideradas en la actividad anterior. Procedan a resolver el problema planteado y a analizar el resultado obtenido.

Comentarios A.42 y A.43. Los ejemplos del interés de la energía potencial mencionados por los estudiantes (salto de agua, martillo levantado…) remiten, claro está, a la energía cinética, cuando intentan explicar su capacidad transformadora. Ello se puede aprovechar para insistir en que eso es lo que ocurre con toda energía potencial o "almacenada". Lo específico de esta forma de energía es, precisamente, la posibilidad de "almacenarla", como hacemos con el agua de una presa, para ponerla en movimiento cuando nos interesa, abriendo una compuerta y dejando salir el agua a gran velocidad. Se trata, como hemos visto, de aspectos que vienen asociados a la existencia de fuerzas conservativas.

En cuanto a la emisión de hipótesis, los estudiantes señalan adecuadamente, apoyándose en observaciones cualitativas, la posible influencia de la masa del cuerpo y de la altura a la que se encuentra. La intensidad del campo gravitatorio g plantea, sin embargo, algunas dificultades (entre otras razones, porque los estudiantes no tienen vivencias directas de situaciones en que esa intensidad varíe), pero una mínima reflexión permite intuir que sin gravedad el cuerpo no caería, ni se podría hablar de energía potencial, lo que conduce a la incorporación de g como otro factor del que dependería la energía potencial gravitatoria. Puede ser que los estudiantes propongan, directamente, la dependencia con el peso, si se ha estudiado la idea de fuerza conservativa, pero es conveniente realizar la separación de variables para poder analizar la influencia tanto de la masa como de la intensidad del campo gravitatorio.

La actividad A.43 pretende que los propios alumnos piensen en la relación $W_{int} = -\Delta E_p$ como estrategia para obtener la variación de energía potencial gravitatoria (considerando, por ejemplo, la caída de un cuerpo desde una altura h_1 a una altura h_2 y expresando el trabajo de la fuerza gravitatoria en función de m, g y la variación de h. Esta actividad puede hacerse más explicita (y más sencilla), si se considera necesario, pidiendo directamente que apliquen la relación $W_{int} = -\Delta E_p$ para obtener la variación de energía potencial gravitatoria.

A.44. Leemos en el enunciado de un problema que "la energía potencial gravitatoria de un objeto que se encuentra a 10 m de altura es de 100 J". ¿Qué hemos de entender con dicha afirmación?

Comentarios A.44. Con esta actividad pretendemos que los estudiantes reflexionen una vez más acerca del carácter sistémico y relativo de la energía: los 100 J indican *el incremento* de energía potencial gravitatoria que experimenta *el sistema tierra-objeto* cuando elevamos 10 m dicho objeto sobre la superficie terrestre (o su disminución cuando el objeto desciende los 10 m).

El carácter relativo de los valores de la energía (*pero absoluto de las variaciones*) puede hacerse más claro mediante una actividad como la siguiente:

A.45. Un cuerpo de 5 kg se encuentra a 2 m del suelo de una habitación que, a su vez, está a 15 m sobre la calle. Calculen la energía potencial referida al suelo de la habitación y al suelo de la calle. El cuerpo se deja ahora en libertad y cae hasta el suelo de la habitación. Calculen la variación de energía potencial utilizando como sistemas de referencia el suelo de la habitación y la calle. Comenten los resultados.

Comentarios A.45. Los cálculos realizados en esta actividad permiten a los alumnos constatar el carácter relativo de las energías potenciales (respecto al nivel tomado como origen de alturas) y el carácter absoluto de las variaciones. Puede pensarse en una actividad semejante para las energías cinéticas.

2.3. Puesta a prueba de los conocimientos construidos

Hasta aquí nos hemos ocupado básicamente de introducir *tentativamente* los conceptos de trabajo y de energía y sus relaciones con vistas a profundizar en el estudio de las transformaciones. Pero, ¿hasta qué punto dichos conceptos y relaciones son útiles? Antes de proseguir necesitamos estar seguros de que los conocimientos construidos funcionan adecuadamente. Una forma de someterlos a prueba consiste en utilizarlos para resolver problemas que podemos solucionar también a partir de la cinemática y la dinámica y ver si proporcionan los mismos resultados. Proponemos, pues, la resolución de los problemas que siguen utilizando tanto las relaciones trabajo-energía como la estrategia cinemático-dinámica.

A.46. Se lanza hacia arriba un objeto, ¿hasta qué altura llegará?

A.47. ¿Conseguirá parar un automóvil antes de llegar al paso de peatones, al ver que el semáforo se pone rojo?

A.48. Desde una altura de 50 cm soltamos un objeto situado en un plano inclinado 30º con la horizontal. El coeficiente de rozamiento entre el objeto y la superficie es 0,2. Determinen la velocidad con que llegará al suelo.

A.49. Se dispara un proyectil contra un muro, ¿qué distancia penetrará?

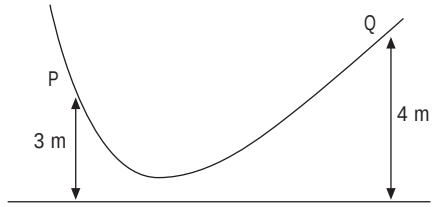
A.50. Con el propósito de subir un tonel de 150 kg a un camión nos ayudamos de una rampa de 3 m de longitud y 1,5 m de altura. Determinen la fuerza que hemos de aplicar.

Comentarios A.46 a A.50. Todos estos problemas pueden resolverse cinemático-dinámicamente, además de aplicando las relaciones trabajo-energía que se han introducido.

La identidad de los resultados obtenidos por ambos caminos se convierte así en una verificación de la validez de dichas relaciones, que posibilitan, además, estrategias más directas y cómodas para obtener algunos de los resultados buscados en estos problemas. Es algo en lo que conviene insistir porque numerosos investigadores han señalado la tendencia de los estudiantes a no hacer uso de los planteamientos energéticos y a limitarse sistemáticamente a los dinámico-cinemáticos cuando resuelven problemas de movimientos (Driver y Warrington, 1985; McDermott, 1993; Doménech et al., 2003). Por otra parte, la expresión $\Delta E_T = W_{ext}$, que se convierte en $\Delta E_c + \Delta E_p = 0$, cuando no hay acciones exteriores sobre el sistema, no sólo permite resolver con mucha facilidad situaciones como la planteada, por ejemplo, en la actividad A.44, sino que hace posible la resolución de otras situaciones más complejas, difícilmente abordables cinemático-dinámicamente como algunas de las que incluimos a continuación. Conviene por todo ello hacer reflexionar a los estudiantes acerca del interés de este doble enfoque.

Queremos enfatizar, por otra parte, que estos problemas pueden plantearse -¡y conviene hacerlo!- en forma abierta, sin incluir datos que inducen a tratamientos operativos desde el principio, tal como se ha propuesto en el capítulo 5 y se muestra en los enunciados de las actividades 46, 47 y 49. No obstante, los alumnos deben llegar a utilizar las estrategias de investigación propuestas en el capítulo 5, aunque el enunciado esté dado en la forma habitual, dejando de lado, inicialmente, los datos que se proporcionan.

A.51. La figura representa un tramo de una montaña rusa. ¿Qué velocidad mínima tendrá que llevar un vagón en P para que sobrepase el punto Q? ¿Con qué velocidad llegará a Q, si en P marcha a 12 m/s? (consideraremos que la fricción del vagón con el suelo y con el aire es insignificante).



A.52. Un péndulo simple está formado por una bolita que cuelga de una cuerda de masa despreciable de 1 m de longitud. Desplazamos lateralmente la bolita, de manera que la cuerda forma un ángulo de 10º con la vertical, y la lanzamos con una velocidad de 2 m/s. Determinen la altura máxima que alcanzará.

A.53. ¿Desde qué altura de un plano inclinado 30º hemos de soltar un objeto si queremos que dé una vuelta a un bucle de 20 cm de radio situado al final del plano?

A.54. Queremos elevar objetos de 140 kg hasta una altura de 15 m. Determinen la potencia del motor que tendremos que utilizar si deseamos que lo haga en 15 s.

A.55. Los resultados obtenidos en las actividades propuestas en este apartado muestran que podemos enfrentarnos al estudio de los movimientos de dos maneras diferentes: utilizando las ecuaciones de la dinámica y de la cinemática y también utilizando los conceptos de trabajo y de energía. Expresen su opinión acerca de las posibles ventajas e inconvenientes de estos dos enfoques.

Nos hemos referido hasta aquí a la utilidad de los nuevos conceptos de trabajo y energía y sus relaciones, en el tratamiento de una serie de situaciones, tanto numéricas (cálculo de velocidades, posiciones, etc.) como prácticas (realización de transformaciones aprovechando la energía cinética asociada al movimiento del viento o a los saltos de agua, etc.). Esta manifiesta fecundidad no excluye, sin embargo, algunos puntos oscuros, como el de qué ocurre con la energía, es decir con la capacidad de un sistema para transformar la materia, cuando dichas transformaciones tienen lugar. Nos ocuparemos seguidamente de esta cuestión capital.

3. RECAPITULACIÓN Y PERSPECTIVAS: ¿QUÉ OCURRE CON LA ENERGÍA CUANDO UN SISTEMA EXPERIMENTA CAMBIOS?

A.56. Elaboren un breve informe en el que se recoja de una manera resumida lo realizado a lo largo del tema y las posibles perspectivas.

Comentarios A.56. Con esta actividad de recapitulación se pretende, en primer lugar, ayudar a los estudiantes a tener una visión global del trabajo realizado. Se puede recordar así que el objetivo perseguido era profundizar en el estudio de los cambios y que, para mejor describirlos e interpretarlos, hemos introducido tentativamente los conceptos de trabajo y de energía y establecido relaciones que se han mostrado fructíferas para el estudio de los cambios mecánicos, en los que nos hemos centrado hasta aquí. Pero la actividad pretende también sacar a la luz las dificultades y aspectos que merezcan mayor clarificación. Los estudiantes pueden expresar así sus dudas acerca de qué ocurre con la energía asociada a las transformaciones, plantear la cuestión de cómo obtener la energía que se precisa, por qué no estamos haciendo referencia al calor, que aparece como un importante agente productor de cambios, etc. Todas éstas son cuestiones que conviene transformar en perspectivas.

A.57. Expongan y debatan sus ideas, intuiciones y dudas acerca de qué ocurre con la energía de un sistema cuando dicho sistema experimenta cambios.

Comentarios finales. La discusión propiciada con esta actividad lleva a referirse a las transformaciones de unas formas de energía en otras (potencial en cinética y viceversa). Unas transformaciones que en algunos casos parecen sugerir la idea de conservación (como ocurre *inicialmente* en la oscilación de un péndulo o en la vibración de un muelle), pero que aparentemente terminan con la desaparición de cualquier forma de energía (el péndulo termina parándose).

Aunque bastantes alumnos de este nivel han estudiado ya y recuerdan el "Principio de conservación de la energía", a menudo no saben explicar qué pasó con la energía inicial del péndulo, del resorte, de una pelota que cae y rebota cada vez a una altura menor, hasta quedar en reposo en el suelo. En cualquier caso, es preciso señalar que esta intuición de que la energía *parece* conservarse en algunas situaciones,

pero acaba sistemáticamente *gastándose*, responde a un problema histórico cuya solución vendría, paradójicamente, de la aparición de otras dificultades en un campo cuya enorme utilidad para producir cambios se conoce desde los orígenes de la humanidad, el del calor, pero aparentemente inconexo con el de las fuerzas y los movimientos. Podemos terminar así este primer tema del estudio de la energía remitiendo al estudio del calor.

Como sabemos, no fue posible la plena comprensión del concepto de energía, ni el establecimiento del "Principio de conservación y transformación" (*acompañada de degradación*), hasta superar las dificultades planteadas por el estudio del calor (Doménech et al., 2003). De hecho, las profundizaciones en los conceptos de energía, trabajo y calor se potenciaron mutuamente y confluyeron con los avances de la teoría corpuscular.

El tema que finalizamos aquí conecta, pues, con el del estudio del calor y con la síntesis del mismo con la mecánica –dos campos, insistimos, que eran considerados absolutamente inconexos– dando lugar así a avances científico-tecnológicos de la mayor importancia.

No podemos incluir en este libro, por razones de espacio, los dos capítulos que se precisa dedicar, respectivamente, al desarrollo de la ciencia del calor y la síntesis termodinámica, y a los usos de la energía y su papel en nuestras vidas. Sí creemos necesario, en cambio, incluir un capítulo destinado a las fuentes de energía y a los problemas asociados a su obtención y uso, dado que, por una parte, la reestructuración del sistema energético constituye, como ha sido señalado con creciente preocupación, uno de los mayores retos tecnológicos que tiene planteado la humanidad en este siglo XXI (Vilches y Gil-Pérez, 2003), y que la atención prestada por la educación científica a esta problemática resulta, en general, absolutamente insuficiente para hacer posible la participación de la ciudadanía en la toma fundamentada de decisiones.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir del siguiente trabajo:

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori. (Anexo E: "Ejemplo de programa-guía de actividades: trabajo y energía").

Referencias bibliográficas en este capítulo

ALONSO, M. y FINN, E. J. (1967). *Fundamental University Physics, Volume 1: Mechanics*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

DOMÉNECH, J. L., GIL-PÉREZ, D., GRAS, A., GUISASOLA, J., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., SALINAS, J., TRUMPER, R. y VALDÉS, P. (2003). La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(4), 285-311.

DRIVER, R. y WARRINGTON, L. (1985). Students use of the principle of energy conservation in problem situation. *Physics Education*, 20, 171-176.

DUIT, R. (1986). In search of an energy concept. En: *Energy matters*. Leeds: University of Leeds.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J. FURIÓ, C.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria.* ICE/Universidad de Barcelona. Barcelona: Horsori.

KAPER, W. H. y GOEDHART, M. J. (2002). "Forms of energy", an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. *International Journal of Science Education*, 24(1), 81-95.

MALLINCKRODT, A. J. y LEFF, H. S. (1993). Stopping objects with zero external work: Mechanics meets thermodynamics. *American Journal of Physics*, 61(2), 121-127.

MAXWELL, J. C. (1877). *Matter and motion*. Reedición de 1991. New York: Dover.

McDERMOTT, L. C. (1993). Cómo enseñamos y cómo aprenden los estudiantes. ¿Un desajuste? (primera parte). *Revista de Enseñanza de la Física*, 6(1), 19-32.

OGBORN, J. (1986). Energy and fuel -the meaning of "the go of things". En: *Energy matters*. Leeds: University of Leeds.

PINTÓ, R. (1991). Algunos aspectos implícitos en la primera y segunda ley de la termodinámica: una aportación al estudio de las dificultades de su aprendizaje. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

RESNICK, R., HALLIDAY, D. y KRANE, K. S. (1993). *Física*, vol. 1. México: Compañía Editorial Continental.

SEXL, R. U. (1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3(3) 285-289.

TRUMPER, R. y GORSKY, P. (1993). Learning about energy: the influence of alternative frameworks, cognitive levels, and closed-mindedness. *Journal of Research in Science Teaching,* 30(7), 637-748.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003) *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.

WARREN, J. W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4(3), 295-297.

Capítulo 11

¿Qué problemas plantean la obtención y el consumo de recursos energéticos?

Carles Furió, Jaime Carrascosa, Daniel Gil Pérez y Amparo Vilches

Comentario preliminar. Como señalábamos en los comentarios finales del capítulo anterior, pasamos a presentar un programa de actividades que forma parte de un conjunto de cuatro unidades destinadas a abordar con un cierto detenimiento la problemática de la energía. Después de lo estudiado en el capítulo anterior, que constituiría la primera unidad, en la segunda (que no incluimos en este libro, por razones de espacio) se abordan los cambios asociados a los fenómenos caloríficos y se analiza la naturaleza del calor y su relación con la energía (lo cual ha llevado a introducir las ideas de conservación, transformación y degradación de la energía). En la tercera unidad (que tampoco se incluye) se estudia el papel de la energía en nuestras vidas, viendo sus usos a lo largo de la historia, desde las primeras formas de producir cambios hasta las tecnologías actuales. Por último, en el capítulo que ahora presentamos, abordaremos el estudio de las fuentes de la energía y los problemas asociados a su obtención y uso, que constituye una problemática fundamental en la formación de ciudadanas y ciudadanos conscientes de los problemas a los que se enfrenta hoy la humanidad, sumándonos así al llamamiento de Naciones Unidas para impulsar una *Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible* (2005-2014).

INTRODUCCIÓN

Si queremos producir cambios como, por ejemplo, tostar pan, lavar la ropa, trasladarnos con rapidez, etc., es necesario emplear una tecnología adecuada –o sea, disponer de aparatos o máquinas– y, al mismo tiempo, usar alguna forma de energía que pueda hacerlos funcionar. Así pues, ha llegado el momento de abordar la cuestión: *¿de dónde sacamos energía para producir estas transformaciones?* Pregunta que hoy día adquiere enorme importancia dada la situación de crisis energética, de agotamiento de recursos energéticos que se viene denunciando desde hace algunas décadas. Nos centraremos, por tanto, en el estudio de *las fuentes de energía*, pero previamente es preciso clarificar la siguiente cuestión:

A.1. Si, como vimos al establecer el principio de conservación de la energía, en un sistema aislado la energía total se conserva, ¿por qué se insiste en la necesidad de ahorrar energía, de consumir menos, o incluso se plantea cómo "producir más" energía?

Comentarios A.1. Es preciso discutir el problema que puede plantear a los estudiantes la aparente contradicción de hablar de necesidades energéticas, cuando sabemos, y se ha establecido en una unidad precedente, que, en un sistema aislado, la energía se conserva. Se trata, pues, de llevarles a recordar lo ya discutido en dicha unidad acerca del problema de la *degradación* de la energía que tiene lugar cuando sucede cualquier cambio: recordar que la energía va distribuyéndose entre los objetos que interaccionan, aumentando en particular la energía interna de los mismos (desordenada) a expensas de la energía macroscópica (ordenada). De ahí que haya necesidad de buscar energía aprovechable o útil para realizar estas transformaciones aunque en ellas *se conserve* la energía.

A.2. ¿Qué cuestiones interesará plantearse en un tema como éste dedicado al estudio de las fuentes de energía?

Comentarios A.2. De entrada, aparece un primer bloque de cuestiones donde los estudiantes plantean la necesidad de conocer *cuáles son estas fuentes de energía*, cómo se pueden utilizar, etc. Otro bloque de preguntas que surge es el relativo a *los problemas que está generando el creciente consumo de recursos energéticos*. En general, estas cuestiones las han oído o visto en los medios de comunicación con la denominación general de *crisis de la energía*. En particular, algunos se preocupan por lo rápidamente que se están agotando las reservas de estas fuentes, mientras otros aluden genéricamente a los problemas ambientales que este consumo ocasiona. Finalmente, los estudiantes se refieren a la necesidad de estudiar las posibles soluciones a estos problemas. Conviene presentarles ahora el índice previsto para el desarrollo del tema, a fin de que constaten la relevancia de sus aportaciones.

Una vez formuladas las cuestiones a plantearse en este tema, convendrá ver en qué medida la programación preparada previamente por los profesores permite su tratamiento.

A.3. Analicen el guión o índice provisional de la unidad que proporcionará el profesor o la profesora, con el fin de contrastar si incluye adecuadamente los problemas concebidos por el conjunto de los equipos o si ha de introducirse algún cambio.

Comentarios A.3. El índice previsto para el desarrollo de esta unidad contempla los siguientes tres bloques (Gil-Pérez, Furió y Carrascosa, 1996):

1. Fuentes de energía.
1.1. Una panorámica de las fuentes primarias de energía en la actualidad.
1.2. Recursos energéticos de uso directo.

2. La crisis de la energía: problemas asociados a la obtención y consumo de energía.
2.1. El problema del agotamiento de los recursos energéticos.
2.2. Problemas ambientales relacionados con la producción y consumo de energía.

3. Energía para un futuro sostenible: ¿qué propuestas?.
3.1. Reducción de la contaminación en la obtención y consumo de combustibles fósiles.
3.2. Aumento de la eficiencia en los procesos energéticos.
3.3. La importancia de las "pequeñas acciones" individuales.
3.4. Nuevas formas de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.
3.5. Un esfuerzo de investigación en tecnologías energéticas favorecedoras de un desarrollo sostenible.
3.6. Más allá del problema de la energía: necesidad de un planteamiento global.

En general, los estudiantes encuentran recogidas sus preocupaciones e intereses en el índice propuesto, pero en el caso de que alguna de sus cuestiones no esté contemplada en esta programación inicial, conviene valorar muy positivamente su contribución e incorporarla al hilo conductor previsto inicialmente.

Con esta discusión inicial se consigue, en definitiva, que los estudiantes adquieran una visión preliminar de la tarea a realizar y la vean como algo propio.

Pasemos, pues, a abordar el primero de los apartados del índice del tema.

1. FUENTES DE ENERGÍA

Comenzaremos el estudio de las fuentes de energía tratando de relacionar lo visto al final de la unidad anterior -relativo a las máquinas y al uso de la energía- con el problema que aquí nos ocupa.

A.4. Consideren aparatos o máquinas que utilicemos los seres humanos, indicando para qué los empleamos y de dónde se obtiene la energía necesaria en cada caso.

Comentarios A.4. Se puede solicitar a los estudiantes que organicen la información en una tabla con tres columnas, destinadas a indicar, respectivamente, el servicio que se necesita (por ejemplo, desplazamiento al instituto), el instrumento utilizado, o, dicho de otro modo, la tecnología empleada (autobús) y, finalmente, la procedencia de la energía necesaria (combustión del gasóleo).

En general, por lo que respecta al origen de las energías, los estudiantes se refieren a productos energéticos de consumo directo, como la gasolina, el butano, etc., o a la corriente eléctrica. Es ahora cuando se debe iniciar el proceso de diferenciar entre *recursos energéticos de uso directo* y lo que se suele denominar como *fuentes primarias de energía* de las que, mediante transformaciones en refinerías o en centrales eléctricas, se obtienen aquellos recursos.

En todos los ejemplos propuestos se ha visto que hace falta utilizar recursos energéticos de uso directo, bien en forma de combustibles o de corriente eléctrica. Podemos ahora plantear cuáles son las fuentes originales de estas energías.

1.1. Una panorámica de las fuentes primarias de energía en la actualidad

A.5. Den una relación lo más amplia posible de los recursos energéticos primarios que se conozcan, indicando cuáles son de uso directo y cuáles se transforman para su uso.

A.6. Indiquen la importancia relativa que, en su opinión, puede tener cada una de las fuentes primarias contempladas en la actividad anterior en el consumo actual de la energía en el mundo.

Comentarios A.5 y A.6. Los estudiantes suelen referirse, como fuentes primarias, al *petróleo,* al *carbón* y al *gas natural* que, en conjunto, constituyen los denominados *combustibles "fósiles"*. También citan los combustibles nucleares, la leña (o, más en general, la biomasa) y las fuentes renovables de energía que se mencionaron en unidades anteriores, como los saltos de agua, las mareas, el viento, el sol, etc. A menudo, sin embargo, a algunos grupos se les olvida mencionar alguna de ellas o incluyen recursos derivados como fuentes primarias, o no tienen en cuenta que un determinado recurso primario (por ejemplo, el gas natural) puede ser de uso directo y utilizarse también para obtener fuentes secundarias. Puede haber alguna referencia al uso del hidrógeno como combustible, que es un tema ampliamente debatido por los medios de comunicación en los últimos años, debate que conviene posponer y que abordaremos al final de la unidad. La puesta en común permite completar y corregir las relaciones elaboradas por los estudiantes.

En relación a la importancia actual (A.6) que conceden a cada uno de estos recursos hay que tener presente que sus respuestas estarán matizadas por el lugar en el que viven. Muchos, por ejemplo, suelen sobrevalorar los porcentajes relativos a la energía hidroeléctrica y nuclear que se destinan a generar electricidad. Conviene, pues, que comparen sus estimaciones con los datos sobre el consumo mundial de fuentes primarias de energía que se recogen en la tabla 1.

Tabla 1.

Consumo mundial de las fuentes primarias de energía	
Crudo de petróleo	35,5%
Carbón	24,7%
Gas natural	15,5%
Biomasa	9,0%
Saltos de agua	5,4%
Combustibles nucleares	3,6%
Otras: viento, sol,...	4,3%

Conocidas las diferentes fuentes primarias de energía, conviene que nos detengamos brevemente en su estudio, comenzando por la biomasa para pasar después al estudio de los combustibles fósiles y nucleares, dejando para más adelante el tratamiento de las fuentes de energía renovables, en la medida en que su uso está asociado en la actualidad a las alternativas energéticas sostenibles (que abordaremos en profundidad en el apartado 3).

A.7. Expongan sus ideas acerca de la biomasa como recurso energético.

Comentarios A.7. Muy posiblemente, los estudiantes restrinjan el significado de la biomasa a la leña para hacer fuego y sea conveniente clarificar que también se debe incluir en este término los productos de desecho de vegetales y animales, como la paja, los excrementos, etc., que pueden fermentarse y obtener combustibles como gas metano o como metanol.

Por otra parte, se puede llamar la atención sobre la importancia de este recurso en los países en desarrollo proporcionando los datos que figuran en la tabla 2 y comentar las razones de que sea la biomasa el recurso más utilizado, así como el serio peligro que corre hoy en día, en muchos de esos países, la cubierta vegetal, a la que no se da tiempo de rehacerse.

Tabla 2.

Porcentaje del consumo de energía primaria en países en desarrollo durante 1991

Fuente	Porcentaje (%)
Biomasa	35
Petróleo	26
Carbón	25
Gas natural	8
Otras renovables	6
Combustibles nucleares	<1

Conviene también referirse a la producción agrícola con fines específicamente energéticos, como alternativa a los recursos fósiles. Es lo que se está haciendo en Brasil con la utilización en gran escala de caña de azúcar para la producción de alcohol, que se utiliza como combustible mezclado con gasolina.

Y, por supuesto, es preciso resaltar que los alimentos, que constituyen el "combustible" de la máquina humana, son el ejemplo más notable de la importancia de la biomasa como fuente de energía. Nos alimentamos de vegetales o animales que, a su vez, se alimentan de vegetales. Si tuviéramos en cuenta esta utilización de la biomasa, los datos de la tabla 1 se modificarían sensiblemente.

Podemos ahora abordar el estudio de los denominados combustibles fósiles planteando por qué se suelen llamar así.

A.8. ¿Por qué a los carbones minerales, al petróleo y al gas natural se les nombra genéricamente como "combustibles fósiles"?

Comentarios A.8. El adjetivo "fósil" ya orienta la respuesta hacia los procesos de formación de estos combustibles. Se puede recurrir a un video o, al menos, a transparencias o láminas grandes para visualizar este proceso larguísimo de "digestión" (sin aire) de plantas y animales y explicar cómo grandes bosques tropicales y pantanosos con helechos gigantes se depositaron, fueron sepultados por sedimentos y, finalmente, se fueron transformando en carbones. Por ello, la mayor o menor "calidad"

de los carbones depende de su mayor o menor "vejez geológica". Es decir, a mayor tiempo sepultados bajo la superficie terrestre, mayor será la riqueza (porcentaje) en peso del elemento carbono: mientras las antracitas son los carbones más viejos, con un porcentaje mayor del 90% en carbono, las hullas oscilan entre un 86% (hullas secas) y un 80% (hullas grasas). En cambio, los lignitos, ya más jóvenes, tienen sólo un 65% de carbono y las turbas apenas el 50%. De hecho, las turbas son más utilizadas por su porosidad, por ejemplo en jardinería, que como combustibles.

Algo similar sucedió con el petróleo: millones y millones de cadáveres de seres unicelulares (el plancton marino) de mares y lagos salados se fueron depositando en los fondos marinos y tras ser enterrados por movimientos orogénicos se mantuvieron comprimidos a temperaturas elevadas durante millones de años, transformándose en las bolsas de petróleo y gas natural que conocemos.

A.9. Visiten un lugar de obtención de recursos energéticos primarios (mina de carbón, yacimiento de petróleo, gas natural...) y elaboren un informe en el que se indiquen las características del yacimiento, los problemas asociados a la obtención del recurso, etc.

Comentarios A.9. Si no fuera posible la realización de la visita, se podría recurrir a que vieran algún documental o película donde se observe, por ejemplo, cómo se extrae el carbón de las minas. La película francesa *Germinal,* basada en la novela de Zola del mismo título, describe con bastante fidelidad cómo trabajaban en las minas de carbón, en el siglo XIX, hombres, mujeres *y niños*.

En cuanto a los yacimientos de petróleo, los estudiantes han oído hablar y han visto en el cine el aspecto de los pozos petrolíferos, pero suelen desconocer lo que hay en su interior. Es conveniente disponer de algunas transparencias claras –con poca información escrita y buena visualización gráfica– donde se vean las distintas fases que hay en el interior de uno de estos yacimientos. Por ejemplo, que se vea la roca "madre" embebida de petróleo con la bolsa que contiene dos fases líquidas –agua salada y petróleo encima– y el gas en la parte superior. Sobre el mismo dibujo se les puede preguntar qué puede ocurrir cuando se "pinche" una de estas bolsas. Comprenden así que, como algunos han visto en películas "del Oeste", según donde se perfore, puede salir un chorro de gas, de petróleo o de agua salada debido a que, normalmente, estos materiales están a una elevada presión.

Conviene aclarar, además, que el petróleo *no es una sustancia*, sino *una mezcla de muchas sustancias, aunque todas sean hidrocarburos*, es decir, compuestos de carbono e hidrógeno (que son dos de los elementos más abundantes en los seres vivos). También el gas natural está constituido por una mezcla de hidrocarburos más ligeros y que se presentan como gases a temperatura ordinaria. Y no está de más recordar a este respecto que aunque el gas natural representa el 20% de los recursos primarios (sin contar la biomasa), no hace muchos años las compañías que realizaban prospecciones petrolíferas, cuando encontraban gas natural, taponaban el agujero hecho o, peor aún, incendiaban el gas. Aunque no se trata aquí de profundizar en lo relativo a la composición de los combustibles fósiles, sí puede ser interesante observarlos directamente y conocer su aspecto, textura, etc. Con ese objetivo, se pueden proporcionar a los estudiantes muestras de petróleo bruto, distintos tipos de carbón, etc. Así comprenderán por qué a la hulla o a la antracita se les llamaba "carbón de piedra" debido a su consistencia, densidad y brillo. Éstos

son carbones fósiles que los estudiantes no suelen diferenciar del *carbón vegetal*, que es un recurso derivado, obtenido en la combustión incompleta de la madera.

También es necesario detenerse mínimamente en la energía nuclear, de reciente aprovechamiento como recurso primario, bien de uso directo (en las explosiones) o indirecto (en las centrales nucleares).

A.10. Escriban un breve texto, apoyándose en la información pertinente, acerca del fundamento de la energía nuclear.

Comentarios A.10. Aunque se trata de un curso básico, es necesario abordar la cuestión para comprender la importancia de esta fuente primaria de energía. Los estudiantes cuentan con ciertos conocimientos e información sobre el átomo, adquiridos en estudios previos y a través de los medios de comunicación, que ahora pueden ampliar. Conviene referirse, por una parte, a la extraordinaria intensidad de las fuerzas nucleares, lo que implica que cualquier transformación de los núcleos va a ir acompañada de un elevado intercambio de energía, y, por otra, que *los núcleos muy pesados* (como los de los átomos de uranio) *o los muy ligeros* (como los de hidrógeno) *son menos estables que los de masa intermedia*. Se comprende así que cuando se rompan núcleos pesados en fragmentos más estables (*proceso de fisión*), se liberará gran cantidad de energía. Y también se liberan ingentes cantidades de energía en los *procesos de fusión,* como los que suceden en el Sol, en los que el "combustible" son los núcleos más ligeros que al unirse forman núcleos de átomos un poco más pesados y estables.

En el apartado siguiente nos asomaremos a los procesos tecnológicos para el aprovechamiento de los recursos primarios, que en el caso de la energía nuclear son particularmente complejos. Pero antes, para acabar con este breve estudio de los recursos energéticos primarios, analizaremos cómo ha evolucionado el consumo mundial de esos distintos recursos.

A.11. Conjeturen cuál ha sido, a grandes rasgos, la evolución de las fuentes primarias de energía y su utilización a lo largo de la historia.

Comentarios A.11. Una actividad como ésta, que puede reforzarse con la recopilación de información pertinente, permite romper con cualquier idea de estabilidad en el tiempo, de que "las cosas han sido siempre así", y apoyar, por tanto, la posibilidad de nuevos cambios. Particularmente relevante, por ejemplo, es lo sucedido con el petróleo: este líquido oleaginoso se utilizó hace más de 6.000 años por distintas culturas como arma incendiaria, impermeabilizante o remedio para distintas enfermedades, pero de forma muy puntual. Todavía en 1808, una comisión científica de la Academia Imperial de Ciencias de San Petersburgo informó, a su regreso de Bakú, capital de la República de Azerbaiyán, a orillas del mar Caspio, que "el petróleo es un mineral carente de utilidad". Cincuenta años más tarde se construyó en Pensilvania (EE.UU.) el primer pozo de petróleo y se le empezó a denominar "oro negro".

Volveremos a plantear la cuestión de los cambios en el uso de los recursos energéticos al analizar los problemas que conlleva la situación actual, pero, previamente, tal como ya hemos avanzado, estudiaremos cómo se obtienen, a partir de las fuentes primarias, los recursos energéticos de uso directo.

Estudiadas las principales fuentes de energía, se puede pasar a tratar su transformación en combustibles de uso directo y en electricidad.

1.2. Recursos energéticos de uso directo

A.12. ¿Qué procedimientos conocen para obtener los recursos energéticos de uso directo a partir de las distintas fuentes primarias?

Comentarios A.12. Al considerar las distintas fuentes primarias se pueden contemplar, básicamente, estas situaciones:

Recursos que pueden ser utilizados directamente, ya sea por combustión (biomasa, carbón mineral, gas natural...) en hornos, máquinas de vapor, etc., ya sea como agentes de movimiento mecánico (viento, energía animal, corrientes de agua...) que hacen funcionar molinos, desplazan barcos, etc.

Combustibles que se obtienen de formas muy diversas: por *destilación*, como la *gasolina* a partir del petróleo; por *fermentación*, como los *alcoholes* a partir de distintos vegetales de crecimiento rápido, o como el *biogás* a partir de los excrementos de las granjas; o por *combustión incompleta*, como el *carbón vegetal* a partir de la leña...

Energía eléctrica obtenida a partir de distintos recursos y procedimientos: haciendo girar turbinas mediante vapor obtenido al calentar agua (quemando diversos combustibles o mediante reacciones nucleares), haciendo girar las turbinas en saltos de agua mediante molinos de viento...

Conviene detenerse en alguno de estos procedimientos e incluso proceder a ensayos prácticos (siempre que no entrañen peligro). A título de ejemplo incluimos, a continuación, algunas actividades, aunque no se trata, lógicamente, de realizarlas todas.

A.13. Desde la antigüedad, y aun hoy en día en muchos lugares del planeta, se viene cocinando con carbón vegetal obtenido a partir de leña. Sugieran la forma de obtener este carbón vegetal e indiquen cuáles podrían ser sus ventajas sobre la leña.

Comentarios A.13. Son muchos los lugares del planeta donde se sigue produciendo carbón vegetal y, por otra parte, todos hemos visto reiteradamente en los restos de una hoguera que la leña que no se ha quemado completamente queda carbonizada. No resulta difícil comprender, pues, que para obtener carbón conviene cubrir montones de leña con tierra y cuidar las entradas de aire *para que sólo arda una pequeña parte de la madera* y el resto se carbonice. Es un proceso delicado y peligroso, que exige bastante pericia de los "carboneros".

En cuanto a las ventajas del carbón sobre la leña, sabemos que la leña se quema con abundancia de humos y llamas muy vivas, por lo que su uso resulta incómodo en las cocinas, mientras que el carbón se quema de forma mucho más regular y sin humos. Y es fácil intuir su mayor facilidad de almacenamiento (el carbón, por decirlo de algún modo, es un combustible más "concentrado").

A.14. Busquen información sobre las transformaciones a que hay que someter el crudo de petróleo para disponer de combustibles directamente utilizables.

A.15. Diseñen algún experimento sencillo para separar por destilación distintas fracciones de una pequeña muestra disponible de petróleo.

Comentarios A.15. Si se opta por realizar la experiencia, es necesario dar las indicaciones necesarias al alumnado para evitar accidentes, ya que se trata de productos fácilmente inflamables. En el caso de que se quiera realizar la destilación fraccionada de petróleo y no se disponga de muestras se puede "fabricar" una de ellas con una mezcla de gasolina, gasóleo, vaselina, aceite de motor gastado y parafina. Una destilación sencilla puede hacerse en un tubo grueso de vidrio, en el que se introduce un volumen de unos 5 ó 6 ml de la muestra y unos trocitos de porcelana para que la ebullición no sea brusca, que se cierra con un tapón atravesado por un tubo fino, suficientemente largo para que llegue a condensar los vapores, que termine en un codo que puede introducirse en un tubo de ensayo. Pueden recogerse distintas fracciones que vayan hasta 80º C (gasolinas), de 80 a 200º C (queroseno), de 200 a 400º C (gasóleos), de 400 a 600º C (aceites lubricantes) y más de 600º C (parafinas).

Otro gran capítulo de obtención de energía de uso es el de la electricidad, al que nos asomaremos a continuación.

A.16. Revisen lo visto en electricidad acerca de cómo se puede generar corriente eléctrica e ilustrarlo con alguna experiencia sencilla.

A.17. ¿Dónde y cómo se produce la energía eléctrica que tan cómodamente gastamos en casa?

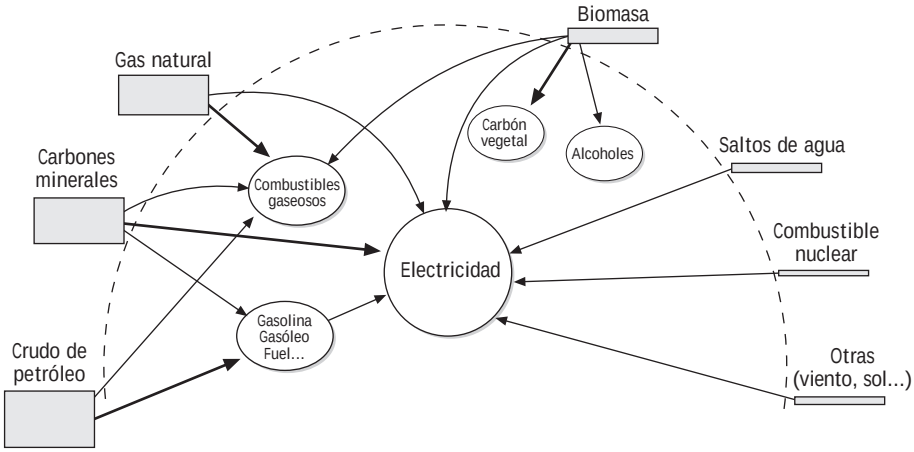
A.18. Interpreten las transformaciones energéticas que tienen lugar en las centrales hidroeléctricas, térmicas y nucleares.

A.19. Visiten una central de producción de energía (hidráulica, nuclear, solar,...) y realicen un debate y un trabajo, posteriormente, sobre la misma, considerando sus características, ventajas, repercusiones en los diferentes ámbitos, etc.

A.20. Elaboren un esquema que sintetice la información relativa a las fuentes primarias y a las de uso directo mostrando sus relaciones e importancia respectiva.

Comentarios A.16 a A.20. No podemos extendernos aquí en comentar cada una de estas actividades, que nos remiten a la información proporcionada en cualquier texto elemental. Sí conviene detenerse en la actividad A.20 por su carácter globalizador. La figura adjunta es un ejemplo de cómo sintetizar la información acerca de las fuentes primarias y derivadas de energía.

Visión global de las principales fuentes primarias de energía y fuentes de uso derivadas



Una vez revisadas las fuentes primarias de energía y cómo a partir de ellas se obtienen los recursos de uso directo, podemos abordar los principales problemas que van ligados a su consumo y, muy particularmente, al crecimiento del mismo, que han dado lugar a la llamada *"crisis de la energía"*.

2. LA CRISIS DE LA ENERGÍA: PROBLEMAS ASOCIADOS A LA OBTENCIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA

Comenzaremos explicitando nuestra percepción global de esta problemática.

A.21. Expongan cuáles son, en su opinión, los principales problemas y desafíos asociados a la obtención y consumo de energía.

Comentarios A.21. Como es lógico, los estudiantes se refieren, básicamente, a los problemas de contaminación y al agotamiento de recursos. Es preciso, pues, insistir y reclamar qué otros problemas pueden estar asociados a la obtención y consumo de energía. Algún equipo hace entonces referencia a los conflictos que se producen por su control. Y una vez rota la barrera que parece obligar a dejar de lado, en un curso de ciencias, las implicaciones sociales del desarrollo tecnocientífico, es decir las interacciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, los equipos se refieren a los desequilibrios "Norte-Sur", a los excesos de consumo de una reducida parte de la humanidad, al problema demográfico, etc., superando el reduccionismo que supone centrar la atención exclusivamente en la degradación del medio físico. Nos remitimos, a este respecto, al planteamiento global que se propone en "*Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*" (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

A continuación repasaremos brevemente algunos aspectos de esta crisis energética.

2.1. El problema del agotamiento de los recursos energéticos

El enorme consumo de recursos, y en particular los energéticos, fue uno de los problemas a los que se dio más importancia en la Primera Cumbre de la Tierra, organizada por Naciones Unidas en Río de Janeiro en el año 1992. Se habló entonces de que el consumo de recursos, en general, superaba en un 25% las posibilidades de recuperación de la tierra, y cinco años después, en 1997, en el llamado Foro de Río +5, el consumo a escala planetaria superaba ya en un 33% a las posibilidades de recuperación.

A.22. Completen la tabla 4 de consumo energético que se adjunta, obteniendo la duración estimada de las reservas y comenten los resultados.

Tabla 4.

Consumo mundial (en 1987) y reservas de combustibles fósiles			
Combustible	**Consumo anual (en TEP)**	**Reservas (en TEP)**	**Duración estimada (en años)**
Carbón	2.387	535.000	
Petróleo	2.941	122.000	
Gas natural	1.556	97.000	

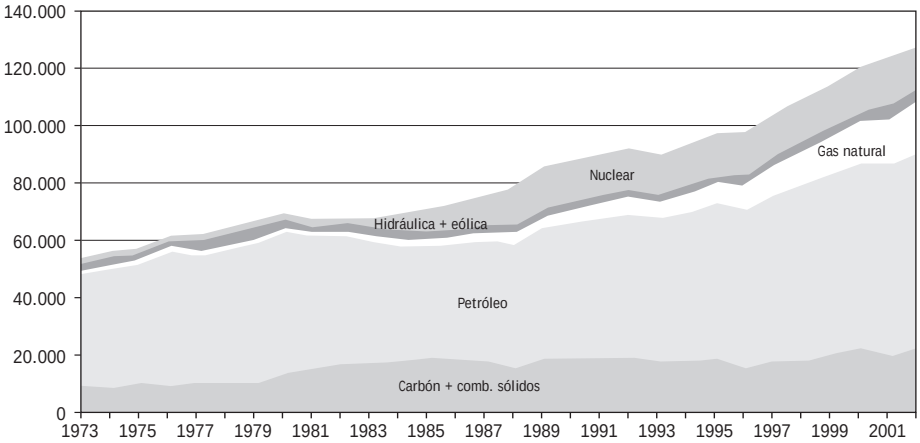
[TEP = Tonelada Equivalente de Petróleo, es decir la energía obtenida por la combustión de una tonelada de petróleo; 1 TEP = $4{,}18 \cdot 10^{10}$ J].

A.23. ¿Hasta qué punto se puede suponer que el ritmo de consumo energético se mantendrá similar al actual?

Comentarios A.22 y A.23. La A.22 es un simple ejercicio que permite a los estudiantes calcular la duración estimada de las reservas de combustibles fósiles, suponiendo que se mantuviera el ritmo del consumo energético. En A.23 se cuestiona dicha suposición, puesto que sabemos que el consumo de recursos energéticos va aumentando muy rápidamente (por razones demográficas, de cambios en las necesidades humanas, etc.), lo que significa que su duración será todavía menor de la prevista. Es cierto que resulta difícil predecir con precisión cuánto tiempo podremos seguir disponiendo de petróleo, carbón o gas natural, ya que tanto las reservas estimadas como el ritmo de consumo mundial están sujetos a variaciones, debidas, entre otras muchas cosas, a la realización de nuevas prospecciones en busca de yacimientos, e incluso se está volviendo a obtener petróleo de yacimientos que se abandonaron hace tiempo por no ser rentables. Pero merece la pena hacer la reflexión para darnos cuenta de que, en definitiva, las tendencias son cada vez más claras, y ni los más optimistas expertos pueden ignorar que se trata de recursos fósiles no renovables, cuya extracción resulta cada vez más costosa. Además, cuando nos referimos al agotamiento del petróleo, no se trata sólo de la pérdida de un recurso energético, sino de una materia prima de multitud de materiales sintéticos, como fibras, plásticos, medicamentos, etc. Y al quemar petróleo, al agotarlo, estamos además privando a las generaciones futuras de una valiosa materia prima (Vilches y

Gil-Pérez, 2003). Se puede presentar un cuadro como el que se adjunta, en el que se aprecia el crecimiento de las fuentes de energía primarias en España en las tres últimas décadas.

Evolución del consumo de energía Primaria
Unidad: ktep



FUENTE: Ministerio de Economía de España. D. G. de Política Energética y Minas.

La evolución mundial del consumo de recursos energéticos esconde desequilibrios que deben ser puestos de relieve:

A.24. Conjeturen cómo se distribuye el consumo de energía en el mundo y busquen información pertinente con la que cotejarlo.

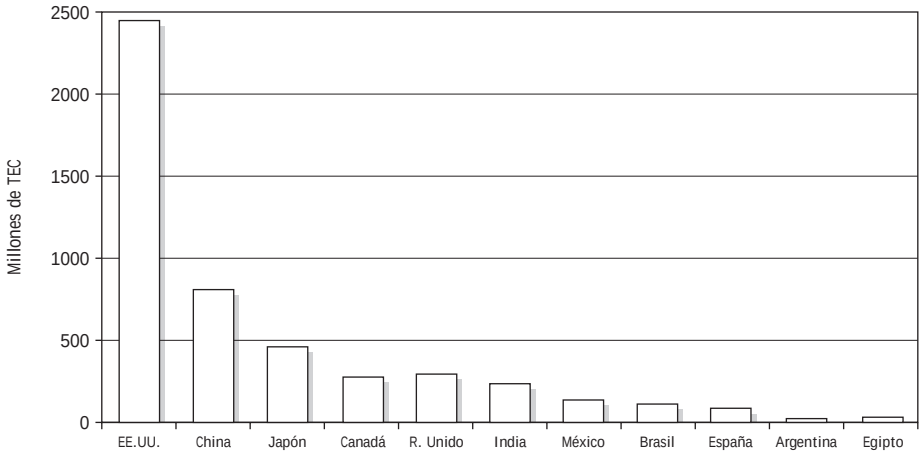
A.25. Teniendo en cuenta la distribución de la población mundial, ¿qué puede decirse acerca de la energía que por término medio consume una persona en un país desarrollado en comparación con una persona de un país en desarrollo?

A.26. Hagan una estimación de cuál sería el consumo total de energía en países como China y la India si sus ciudadanos y ciudadanas usaran un promedio de energía igual al de los estadounidenses o al de los ciudadanos de la Unión Europea.

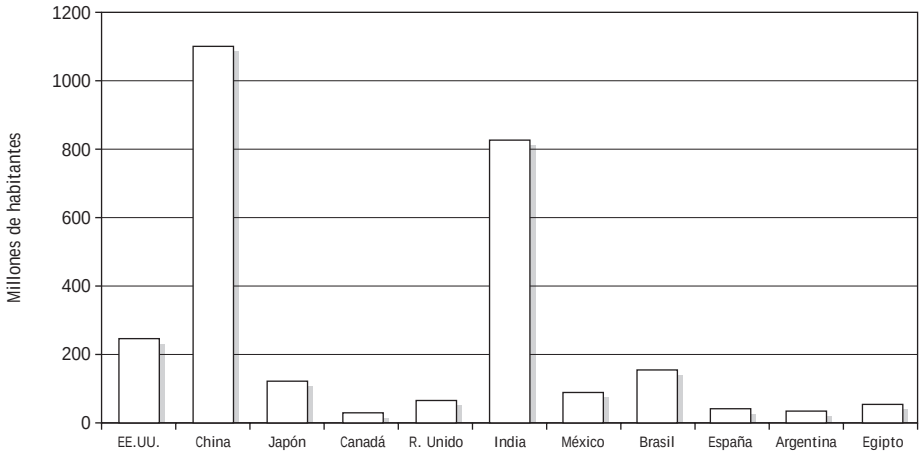
Comentarios A.24 a A.26. En A.24 y A.25 se trata de reflexionar sobre las diferencias existentes en el consumo de energía entre los países desarrollados y los en desarrollo. El problema de las grandes desigualdades existentes en el planeta se ve claramente con las diferencias en el consumo entre países. Y más si tenemos en cuenta la distribución poblacional (A.25). Esto permite introducir la idea de consumo energético per cápita y comprender una vez más las relaciones entre los diferentes problemas que afectan a la humanidad. A ese respecto podemos recordar las palabras de Paul Kennedy: "Los estadounidenses sumamos algo menos del 5% de la población mundial, pero nos bebemos el 27% de la producción mundial de petróleo y consumimos casi el 30% del Producto Interior Bruto". Y no es un problema exclusivo de EE.UU.: algo semejante se puede decir de ese 20% de la población mundial que vive en los países ricos.

Una vez los estudiantes han expuesto sus conjeturas acerca de estos desequilibrios y su relación con la distribución poblacional, se les puede suministrar alguna gráfica con datos al respecto, como las que se muestran a continuación. En A.26 se puede contribuir a poner de manifiesto una vez más el problema del consumo, las desigualdades y el agotamiento de los recursos energéticos. A este respecto, en el Foro de Río + 5, al que antes nos referíamos, se concluyó que la actual población necesitaría los recursos de *tres Tierras* para alcanzar un nivel de vida semejante al de los países desarrollados (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

Consumo total de energía en distintos países



Población de cada país



Al grave problema de la escasez de los recursos energéticos hay que añadir el no menos grave de las consecuencias medioambientales que está produciendo este consumo creciente de la energía. Detengámonos en su análisis.

2.2. Problemas ambientales relacionados con la producción y consumo de energía

A.27. Elaboren un dossier con los principales problemas ambientales derivados de la producción y uso de la energía aparecidos en la prensa durante el tiempo que acuerden con su profesor.

Comentarios A.27. Se trata de que durante una o dos semanas los equipos procedan a elaborar un dossier con las noticias de prensa y anoten las referencias que aparezcan a la contaminación ambiental asociada al uso y obtención de los combustibles fósiles y a sus consecuencias, como la lluvia ácida, el incremento del efecto invernadero..., a los problemas de producción, transporte y almacenamiento de los residuos radiactivos y otros materiales peligrosos, etc., así como a los originados en la extracción y transporte de los recursos energéticos, indebidamente presentados como "accidentes". Se trata de una actividad que permite conectar de nuevo lo que se estudia en el aula con el entorno natural y social, lo que contribuye a despertar el interés de los estudiantes hacia los problemas planteados. Este interés se incrementa si se solicita la confección de carteles destinados a ser expuestos y comentados (Gil-Pérez, Furió y Carrascosa, 1996).

Enumerados los problemas ambientales producidos por el consumo de energía, pasaremos a estudiar algunos de ellos y sus consecuencias.

A.28. ¿En qué consiste la lluvia ácida? ¿Qué efectos puede tener sobre el medio ambiente?

A.29. Diseñen una experiencia para contrastar las hipótesis emitidas en torno a las consecuencias de la lluvia ácida sobre las ciudades.

A.30. ¿Qué se entiende por efecto invernadero? ¿Cuáles son las principales causas de su incremento en las últimas décadas y qué consecuencias tiene dicho incremento para el medio ambiente?

A.31. Indiquen algunos problemas que puedan producirse durante la extracción y transporte de los recursos energéticos.

A.32. ¿Cuáles son los principales problemas que plantea el uso de la energía nuclear?

Comentarios A.28 a A.32. Se inicia este estudio con la lluvia ácida (A.28), fenómeno bastante familiar para aquellos estudiantes que viven en metrópolis con tráfico automovilístico intenso y que es responsable del aumento de la acidez del agua de lagos y ríos, de los suelos, con pérdida de nutrientes, del deterioro de árboles, obras arquitectónicas, esculturas, etc. La A.29 permite ver en qué consiste, precisamente, el denominado "mal de la piedra" al atacar y disolver polvo de mármol con un ácido (por ejemplo, vinagre). Si se considera de interés, se puede proponer, previamente a A.29, la preparación de dióxido de azufre para ver su acidez y así poder comprender los efectos que puede acarrear la disolución de estas emisiones gaseosas en aguas de lagos o su absorción por las hojas y raíces de los vegetales. Esto se puede realizar fácilmente quemando un poco de azufre dentro de un balón, después se tapa el balón con un tapón de goma atravesado por un pequeño tubo de vidrio, se invierte cuidadosamente y se introduce el extremo del tubito en agua,

que, previamente, ha sido amarilleada con rojo de metilo (¡el efecto surtidor es realmente sorprendente!).

La A.30 se destina a estudiar el efecto invernadero, producido fundamentalmente por el dióxido de carbono y, en menor medida, por otros gases como el metano, óxidos de nitrógeno, vapor de agua, etc. En primer lugar, conviene detenerse en señalar la importancia de este efecto para la existencia de vida en el planeta, para conseguir un balance energético que evite las oscilaciones de temperatura que serían incompatibles con la vida, tal y como la conocemos. Hay que señalar entonces que el problema no está, como a veces se dice, en el efecto invernadero, sino *en su incremento*, en la alteración de los equilibrios existentes, debido fundamentalmente a las emisiones de CO_2 producido al quemar carbón, derivados del petróleo o simplemente leña. Por último, conviene detenerse en las consecuencias del calentamiento global que esto está provocando, relacionado con el incremento de la temperatura media del planeta, por lo que se refiere a subida del nivel del mar, alteraciones en las precipitaciones, y sus implicaciones para la salud humana, la agricultura, los bosques, etc.

En A.31 se hace hincapié en las catástrofes que se producen durante la extracción del carbón en las minas, en las que han muerto miles y miles de trabajadores, así como los numerosos desastres ecológicos debidos al transporte marítimo del crudo de petróleo en barcos sin garantías. Es preciso cuestionar, de nuevo, la presentación de estas catástrofes como "accidentes", puesto que son el fruto inevitable de los intentos de reducir los costes y aumentar los beneficios al máximo, aun a costa de la seguridad de personas y ecosistemas.

Finalmente, en A.32 los estudiantes podrán discutir en torno a los problemas de seguridad en las centrales nucleares, en particular, recordar los accidentes nucleares ocurridos así como el problema que supone el almacenamiento de residuos radiactivos en tierra o en el mar, fundamentalmente los de alta actividad, que constituyen un gravísimo problema para generaciones futuras.

Una vez analizados algunos de los problemas que se plantean en la actualidad con la obtención y consumo de los recursos energéticos, habrá que buscar soluciones a los mismos. A ello dedicaremos el apartado siguiente.

3. ENERGÍA PARA UN FUTURO SOSTENIBLE: ¿QUÉ PROPUESTAS?

Hemos visto que actualmente existe una situación grave a nivel mundial en torno a los problemas asociados a la obtención y uso de la energía. Una situación insostenible de creciente degradación a la que debemos poner fin si no queremos comprometer el desarrollo de las generaciones futuras.

A.33. ¿Qué medidas conciben que habría que adoptar para resolver los problemas asociados a la crisis de la energía que acabamos de estudiar?

Comentarios A.33. A partir de las respuestas de los estudiantes se puede establecer un hilo conductor para ir estudiando un conjunto de soluciones que pueden agruparse en medidas a corto, medio y largo plazo, tanto en el campo tecnológico como en el

educativo y en el político. Será necesario insistir en todo momento en que ninguna acción aislada puede ser efectiva, sino que se necesita un conjunto de medidas interconectadas, que se apoyen mutuamente. Y, por supuesto, no se trata exclusivamente de medidas tecnológicas: no es posible resolver los problemas asociados a la crisis de la energía sin, por ejemplo, interrumpir el crecimiento explosivo de la población o sin poner fin al despilfarro social que suponen carreras armamentísticas que absorben elevados porcentajes de los recursos energéticos y materiales y a las que se destina más del 50% de los esfuerzos de investigación (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Mayor Zaragoza, 2000). Empezaremos por las sugerencias de acción inmediata, como la reducción de la contaminación en la obtención y consumo de combustibles fósiles.

3.1. Reducción de la contaminación en la obtención y consumo de combustibles fósiles

Un primer paso para abordar las soluciones más inmediatas será introducir tecnologías que reduzcan al máximo la contaminación ambiental.

A.34. Expongan, lo más detalladamente posible, las medidas tecnológicas que conciban para reducir al máximo la contaminación debida a la obtención, transporte y consumo de combustibles fósiles.

Comentarios A.34. Algunas de estas medidas pueden ser, por ejemplo, la eliminación de impurezas de azufre en los lignitos que se utilizan en las centrales térmicas, el uso de catalizadores en los automóviles, la construcción de "ecopetroleros", etc. En realidad, existen numerosas tecnologías estudiadas desde hace tiempo para controlar y reducir la contaminación ambiental, basadas en procesos tecnológicos sencillos y no muy costosos, por lo que se podrían llevar adelante fácilmente en todos los países. Unas están destinadas a disminuir la contaminación (cambios en materias primas, modificaciones en los equipos, control de procesos, etc.) y otras a actuar sobre la contaminación una vez producida (equipos que controlan y miden las emisiones, depuradoras de diferentes características para gases, líquidos, sólidos, etc.). Existe numerosa bibliografía al respecto, en el ámbito de la gestión de los recursos, de la denominada tecnología ambiental (Seoánez, 1998; Jarabo F., Elortegui y Jarabo J., 2000; Pascual Trillo, 2000; Girardet, 2001; Jiménez, 2001; Vilches y Gil-Pérez, 2003).

A.35. ¿Por qué muchas de las medidas estudiadas para reducir la contaminación no se llevan adelante?

Comentarios A.35. La discusión que plantea esta actividad nos remite de nuevo a la idea de que las soluciones no son exclusivamente de carácter técnico, sino que se requiere voluntad política de los poderes públicos, así como decisión y participación activa de cada uno de nosotros para evitar problemas que son el resultado de intereses particulares a corto plazo.

Otras medidas muy necesarias que se deben tener en cuenta son las relativas a aumentar la eficacia en el uso de la energía.

3.2. Aumento de la eficiencia en los procesos energéticos

Teniendo en cuenta los problemas que hemos ido abordando a lo largo de la unidad, será necesario dar prioridad a tecnologías que aumenten la productividad de los recursos, más que a tecnologías que incrementen la cantidad extraída de los mismos. Es decir, la búsqueda de eficiencia se convierte en una característica de las tecnologías para un desarrollo sostenible.

A.36. Como sabemos, en cualquier transformación sólo se aprovecha una parte de la energía utilizada, mientras el resto se "pierde". Ideen un concepto que nos permita determinar la eficacia de una determinada máquina, desde el punto de vista energético.

A.37. ¿Qué significa decir que la eficiencia energética de un motor de gasolina es del 25%?

A.38. ¿En qué orden de eficiencia energética creciente habría que colocar, en su opinión, las siguientes "máquinas": primera máquina de vapor (construida por Newcomen en 1712), máquina de trenes a vapor, bicicleta, motor Diesel, cuerpo humano, turbina de vapor, motor de gasolina, turbina de agua (centrales hidroeléctricas)?

A.39. Revisen algunas de las aportaciones de las nuevas tecnologías (ya estudiadas en la unidad anterior) al aumento de la eficiencia de los procesos energéticos.

Comentarios al apartado 3.2. Con A.36 se inicia la revisión de las ideas de degradación de la energía que se habrán visto en una unidad anterior. Ello dará pie a que los estudiantes puedan construir la idea de rendimiento energético como cociente entre la energía aprovechada o energía útil, E_u, y la energía suministrada, E_s. A continuación, las actividades A.37 y A.38 permiten el manejo y consolidación del concepto. En esta última actividad puede ser interesante suministrar a los estudiantes la tabla adjunta una vez debatidas sus hipótesis. La A.39 se dirige a revisar los avances tecnológicos, vistos en unidades anteriores, como, por ejemplo, la aplicación de la robótica al hogar, los ordenadores, etc., desde el punto de vista de la eficiencia energética.

Tecnología	Rendimiento energético (en %)
- Máquina de vapor de Newcomen (1712)	02
- Tren a vapor (carbón como combustible)	10
- Máquina de vapor (de 1880)	17
- Cuerpo humano	25
- Máquina de combustión interna (a gasolina)	25
- Máquina de combustión interna (Diesel)	35
- Turbina de vapor (a 600º C)	40
- Turbina de agua (central hidroeléctrica)	85
- Bicicleta	95

Ahora bien, al posible ahorro energético, que se pueda conseguir a través del avance tecnológico, hemos de añadir la contribución de cada uno de nosotros con nuestras acciones individuales, lo que nos remite al papel de la educación.

3.3. La importancia de las "pequeñas acciones" individuales

A.40. Comenten la siguiente proposición: "Los problemas de agotamiento de los recursos energéticos y degradación del medio son debidos, fundamentalmente, a la actividad de las grandes industrias; lo que cada uno de nosotros puede hacer al respecto es, comparativamente, insignificante".

A.41. Sugieran medidas que se puedan aconsejar a los ciudadanos y ciudadanas para ahorrar energía en las viviendas, transporte, etc.

A.42. Diseñen una campaña de sensibilización acerca de los problemas energéticos y sus posibles soluciones para el barrio en el que viven y para la misma escuela.

A.43. Organicen un "congreso escolar" en torno a la crisis de la energía, en el que se puedan presentar y debatir ponencias de distintos equipos de estudiantes y algunos expertos.

A.44. Elaboren un "manifiesto/compromiso para el uso correcto de la energía" que se pueda difundir y hacer asumir.

Pero no se trata únicamente de ahorrar la energía que utilizamos directamente. Tan importante como esto es la reutilización y reciclado de materias primas y productos de uso diario y, muy en particular, la recogida de aquellos materiales como las pilas eléctricas que son muy contaminantes y no deben ser echadas a la basura común, sino a contenedores separados para su recogida y reciclaje.

A.45. Estudien el impacto que la reutilización y el reciclado de algunos materiales (papel, vidrio, etc.) puede tener en el ahorro energético y organicen una campaña de recogida de estos materiales en la escuela.

A.46. Organicen una campaña de sensibilización para la recogida de pilas eléctricas.

A.47. Diseñen y elaboren un "juego de la oca" que contemple los usos sostenibles de la energía (que harán avanzar) y los abusos (que obligarán a retroceder).

Comentarios al apartado 3.3. Se empieza por llamar la atención sobre la necesidad de responsabilizar a todos, incluidos los estudiantes, en el problema del ahorro energético (A.40), así como por debatir la efectividad que pueden tener los comportamientos individuales, los cambios en nuestras costumbres, que la educación puede favorecer. Podemos referirnos a una multiplicidad de acciones, algunas de las cuales se abordan en las siguientes actividades, cuya suma puede tener un efecto mayor que el del conjunto de la industria, por ejemplo. Es algo que se puede mostrar fácilmente con cálculos simples, lo que permite cuestionar mitos como el formulado en la actividad que dificultan implicarse en la puesta en práctica de posibles soluciones, y nos ayudan a comprender la importancia del modelo de vida que adoptemos para el logro de un futuro sostenible. En A.41 se avanzan algunas acciones para ahorrar energía en las viviendas, como, por ejemplo, usar aparatos de calefac-

ción, de refrigeración, bombillas, etc., de bajo consumo, usar transporte público frente al privado y potenciar el uso de las bicicletas, etc. Pueden proponerse actividades que vayan más allá de la reflexión e impliquen una cierta acción, como, por ejemplo, diseñar campañas de sensibilización (A.42), organizar un "congreso escolar" en torno a la crisis de la energía (A.43), redactar un manifiesto para el uso adecuado de la energía (A.44). También se puede extender el campo de las acciones individuales con vistas al impacto que puede tener en este ahorro la reutilización y el reciclado de materiales, recordando las famosas "tres erres" (reducir, reutilizar y reciclar) (A.45). A este respecto se ha enfatizado también la recogida y reciclaje de las pilas eléctricas gastadas (A.46). Finalmente, y a modo de síntesis, se presenta la A.47, en la que se puede construir un "juego de la oca" para resaltar aquellos aspectos que se consideran más importantes en el uso sostenible de la energía y también los de un uso inadecuado. En este apartado se puede suministrar bibliografía dirigida específicamente a los estudiantes que, puede ser interesante para las respuestas de las diferentes actividades (Porrit, 1991; Durning, 1994; Silver y Vallely, 1998; Comin y Font, 1999; The Earth Works Group, 2000; Fernández y Calvo Roy, 2001; Girardet, 2001; Calvo Roy y Fernández, 2002; etc.).

A continuación dirigiremos la atención a las fuentes renovables de energía, algunas conocidas desde muy antiguo, con objeto de ver la posibilidad de aprovecharlas más eficazmente de lo que tradicionalmente se ha hecho.

3.4. Nuevas formas de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía

Son muchas las personas que piensan que en realidad no hay alternativa a los combustibles fósiles, no hay otras posibilidades desde el punto de vista técnico, con la única excepción de la energía nuclear. Cuestionaremos a continuación esta idea, deteniéndonos en las posibilidades que para un desarrollo sostenible ofrece el uso de fuentes de energía alternativas.

A.48. Enumeren las "fuentes renovables" de energía que conozcan, señalando cuáles pueden ser sus ventajas e inconvenientes, frente a las energías no renovables.

A.49. Visiten, si es posible, algún parque eólico o aerogenerador de los que existen en zonas rurales, realizando una memoria sobre sus características, ventajas y posibles inconvenientes.

A.50. ¿Cómo se pueden aprovechar las mareas, las olas y los saltos de agua para producir electricidad?

A.51. Expongan sus ideas acerca de la importancia de la energía que nos llega del Sol.

A. 52. Construyan un cuadro en el que se muestre la relación entre la energía solar y los recursos energéticos (fósiles y renovables) estudiados hasta aquí.

A.53. ¿Cómo se produce la energía que nos llega del Sol?

A.54. ¿Cómo podemos utilizar dicha energía solar? Citen ejemplos de su aprovechamiento directo e indirecto.

A.55. Recojan información y presenten esquemas gráficos sobre el funcionamiento de centrales de energía solar. Realicen una valoración sobre el uso de estas centrales.

Comentarios al apartado 3.4. Primeramente, los estudiantes, en A.48, enumeran sin problemas la mayor parte de las fuentes renovables de energía (viento, saltos de agua...) y señalan sus ventajas frente a las fuentes no renovables, así como sus posibles limitaciones, debido a su dispersión y a que se trata de tecnologías en algunos casos poco desarrolladas o que cuentan con pocas ayudas. A continuación, en A.49 se propone la visita a un parque eólico o algún aerogenerador cercano. Esta visita puede ser sustituida por la proyección de algún documental de los muchos que existen al respecto. En el caso de la energía mareomotriz y la de las olas, se propone una búsqueda de información y posterior exposición. Lo mismo puede hacerse en el caso de las energías hidráulica y geotérmica. Existen videos sobre la utilización de estas energías que pueden ayudar a una mejor comprensión de las ventajas de estas fuentes de energía frente a las procedentes de combustibles fósiles. Particular énfasis se ha hecho en la energía solar, a la que se destina la mayoría de las actividades restantes, en las que se pretende resaltar la importancia que tiene la energía solar no sólo para la vida vegetal (mediante la fotosíntesis) y animal, sino también como fuente de la que proceden la mayor parte de los recursos renovables e incluso los propios combustibles fósiles (formados originalmente por vegetales y/o animales). La A.53 plantea la cuestión de la producción de energía en los procesos de fusión nuclear que suceden en el Sol, y la A.54 presta atención a la aplicación práctica de la utilización de energía solar, ya sea directamente o por medio de determinados procedimientos, en ejemplos cotidianos como el secar la ropa, calentar agua, etc., así como en la construcción de algún dispositivo que permita concentrar la energía solar mediante un faro de vehículo roto y asar una salchicha, etc. Finalmente, para dar cierta visión tecnológica se recomienda otra búsqueda de información para conocer de manera más próxima una central térmica solar (A.55), destacando la importancia del uso de estas centrales.

Todo el conjunto de medidas apuntado en los apartados anteriores como posibles soluciones a corto y medio plazo son claramente insuficientes para abastecer nuestras necesidades energéticas. Así pues, la humanidad requiere nuevas formas de obtener recursos energéticos "abundantes y limpios".

3.5. Un esfuerzo de investigación en tecnologías energéticas favorecedoras de un desarrollo sostenible

A.56. ¿Cuáles son las perspectivas actuales de conseguir recursos energéticos "limpios" e "inagotables"?

Comentarios A.56. La A.56 da pie para plantear que, aun con todas las propuestas hechas en los apartados anteriores (del 3.1 al 3.4), va a ser difícil dar por resuelta la crisis de la energía y que es preciso seguir buscando la obtención de recursos energéticos abundantes y "limpios".

Se puede hacer referencia, a este respecto, a los proyectos de investigación hoy en marcha para la obtención de energía por procesos de fusión, como los que tienen lugar en el Sol, que proporcionarían una energía prácticamente inagotable, sin los residuos radiactivos de la actual tecnología de fisión de núcleos pesados, que plantea, además, serios problemas de seguridad, por la dificultad de controlar la reacción en cadena. Existe una fuerte oposición a estas investigaciones en el campo de la fusión, ya que el problema de la seguridad es aún más serio que en el de los actuales reactores de fisión. Y se trata, además, de tecnologías tan complejas que favorecen su control por unos pocos.

Paralelamente, se están impulsando investigaciones sobre cómo eliminar los residuos radiactivos, tan perjudiciales, que se producen en las reacciones de fisión.

Para muchos, sin embargo, el futuro del modelo energético se encuentra en las energías renovables, que, como hemos visto en el apartado anterior, son ya una alternativa tecnológica real y de las que se esperan grandes progresos en su eficacia, en una mayor optimización de producción, en la reducción de costes, etc. Es algo que ya ha empezado, por ejemplo, en lo que se refiere a la energía eólica, que ha experimentado en los últimos años, a nivel mundial, el mayor crecimiento de todas las formas de energía. Así, en España, segundo país europeo en producción de energía eólica, la potencia lograda equivale ya a la de tres centrales nucleares. Algunos expertos señalan que las investigaciones destinadas a las mejoras tecnológicas en este campo, que ya han producido una disminución del coste y un mayor conocimiento del mapa de vientos, a más largo plazo harán que la energía eólica, tanto en tierra como en el mar, sobrepase a la hidráulica, que ahora suministra un 20% de la electricidad mundial.

Al contemplar las perspectivas de futuro debemos referirnos también a la energía solar, término que incluye gran número de dispositivos (paneles solares, hornos solares, colectores solares, termoelectricidad solar, centrales electrosolares, células fotovoltaicas, etc.) con tecnologías bien diferentes, que tienen en común la utilización directa de la luz solar y que pueden alcanzar un notable desarrollo si tanto las investigaciones como su puesta en práctica reciben las ayudas necesarias. Las actuales investigaciones en este campo tratan de mejorar las tecnologías transformadoras. De este modo, según expertos, la energía solar se convertiría no sólo en la más ecológica, sino también en la más productiva y, por tanto, en la más económica de las energías renovables.

Otras investigaciones prospectivas se desarrollan en el campo de la biomasa, un recurso energético flexible y renovable, si se basa en cultivos que eviten la degradación del suelo y en el aprovechamiento de bosques convenientemente gestionados y reforestados. No debemos obviar, sin embargo, el debate de la contaminación que provoca, ya que su combustión produce dióxido de carbono, contribuyendo al incremento del efecto invernadero.

Debemos referirnos también a las investigaciones y desarrollos de otras energías alternativas, como la asociada a las mareas y las olas, que tratan de superar los problemas prácticos y de eficiencia que presentan hoy en día. O como la energía geotérmica, que tiene un gran potencial en zonas de actividad volcánica.

Para terminar esta breve revisión de las perspectivas de futuro, queremos referirnos a la posibilidad de la utilización del hidrógeno como combustible, una línea de

investigación que está teniendo un eco notable en los medios de comunicación, pero que está dando lugar a afirmaciones incorrectas acerca de la posibilidad de que el hidrógeno se convierta en un recurso energético primario, capaz de sustituir a los combustibles fósiles, etc.

Señalemos de entrada que el uso del hidrógeno como combustible en los motores de los vehículos supone un avance tecnológico importante, puesto que su combustión únicamente produce vapor de agua como subproducto, lo que puede reducir drásticamente la contaminación que hoy en día afecta tan gravemente a nuestras ciudades.

Pero lo que no podemos es presentar al hidrógeno, como a veces se hace, como una fuente de energía ilimitada y poco costosa, ya que, como señala Cayetano López en un artículo publicado en el diario español *El País*, el 26-3-2003, "el hidrógeno no es una fuente de energía. No existen minas ni yacimientos de hidrógeno en nuestro planeta, así que no podemos extraerlo para combinarlo con el oxígeno de la atmósfera y generar energía, dejando agua como único residuo". Es verdad que, como ya hemos señalado, los vehículos que utilicen como motor las llamadas "pilas de hidrógeno" no contaminarán las ciudades, puesto que al quemarse no producen CO_2, sino exclusivamente agua. Pero aunque el hidrógeno sea el elemento más común del universo, en la Tierra no existe en estado natural, así que para utilizarlo hay que separarlo del agua, y en la actualidad el 99% del hidrógeno que se produce en el mundo se obtiene por electrolisis, utilizando para ello la energía de combustibles fósiles, principalmente del gas natural, que contamina y que, como hemos visto, contribuye al cambio climático, aunque la electrolisis no se produzca en las ciudades y éstas resulten menos contaminadas. En definitiva, el hidrógeno puede ser un medio para utilizar energía en lugares donde la contaminación puntual sea más grave (ciudades), pero no es una fuente primaria, como no lo es la electricidad. La solución global, pues, no está en el hidrógeno, sino en disponer de fuentes renovables y no contaminantes de energía, para producir la electrolisis del agua y obtener hidrógeno, para generar electricidad, etc.

3.6. Más allá del problema de la energía: necesidad de un planteamiento global

Disponer de energía abundante y limpia es un indudable requisito para la supervivencia de nuestra especie, pero no es un problema aislado, sino que forma parte de una situación de emergencia planetaria que debemos abordar globalmente.

A.57. Señalen otros problemas que debamos plantearnos, además del que representa la necesidad de recursos energéticos, así como las posibles soluciones para conseguir un desarrollo sostenible.

Comentarios A.57. Las actividades A.21 y A.33, entre otras, nos han permitido ya romper con lecturas reduccionistas del problema de la energía y mostrar su vinculación con cuestiones como, entre otras:

- la explosión demográfica, que ha multiplicado por cuatro, en menos de un siglo, la población que ha de ser alimentada (Folch, 1998);
- el hiperconsumo de una quinta parte de la humanidad, que ha utilizado en

pocas décadas más recursos (y ha generado más residuos) que el resto de la humanidad viva *y que todas las generaciones que nos han precedido* (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988);

- los enormes desequilibrios existentes, con una quinta parte de la humanidad que apenas dispone del equivalente a un dólar diario y se ve obligada a una explotación insostenible del medio para simplemente sobrevivir (Mayor Zaragoza, 2000);
- los conflictos y carreras armamentistas que dichos desequilibrios potencian y que se traducen en una absurda destrucción de recursos (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988);

Todos estos problemas están vinculados entre sí y dibujan una situación de emergencia planetaria (Bybee, 1991) que es preciso contemplar globalmente (Vilches y Gil-Pérez, 2003). En el capítulo 15 abordamos más detenidamente esta situación de emergencia planetaria, atendiendo al llamamiento de Naciones Unidas (1992) para que todos los educadores contribuyamos a formar ciudadanos y ciudadanas con una adecuada percepción de dicha problemática y comportamientos responsables frente a la misma.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir de los siguientes trabajos:

GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C. y CARRASCOSA, J. (1996). *Curso de formación para profesores de ciencias. Unidad I.1. La energía: la invención de un concepto fructífero*. Madrid: MEC.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.

Referencias bibliográficas en este capítulo

BYBEE, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153.

CALVO ROY, A. y FERNÁNDEZ BAYO, I. (2002). *Misión Verde: ¡Salva tu planeta!* Madrid: Ediciones SM.

COMIN, P. y FONT, B. (1999). *Consumo sostenible. Preguntas con respuesta.* Barcelona: Icaria.

COMISIÓN MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988). *Nuestro futuro común.* Madrid: Alianza.

DURNING, A. T. (1994). *Cuánto es bastante: la sociedad de consumo y el futuro de la Tierra.* Barcelona: Apóstrofe.

FERNÁNDEZ BAYO, I. y CALVO ROY, A. (2001). *¡Enchúfate a la energía!* Madrid: Ediciones SM.

FOLCH, R. (1998). *Ambiente, emoción y ética. Actitudes ante la cultura de la sostenibilidad.* Barcelona: Ariel.

GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C. y CARRASCOSA, J. (1996). *Curso de formación para profesores de ciencias. Unidad I.1. La energía: la invención de un concepto fructífero*. Madrid: MEC.

GIRARDET, H. (2001). *Creando ciudades sostenibles.* Valencia: Tilde.

JARABO, F., ELORTEGUI, N. y JARABO, J. (2000). *Fundamentos de tecnología ambiental.* Madrid: Publicaciones Técnicas, S. L.

JIMÉNEZ, L. M. (2001). *Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica.* Madrid: Síntesis.

MAYOR ZARAGOZA, F. (2000). *Un mundo nuevo.* Barcelona: UNESCO. Círculo de Lectores.

NACIONES UNIDAS (1992). *UN Conference on Environmental and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles.* París: UNESCO.

PASCUAL TRILLO, J. A. (2000). *El teatro de la ciencia y el drama ambiental.* Madrid: Miraguano Ediciones.

PORRIT, J. (1991). *Salvemos la Tierra.* Madrid: Aguilar.

SEOÁNEZ CALVO, M. (1998). *Medio Ambiente y Desarrollo: Manual de gestión de los recursos en función del medio ambiente. Manual para responsables, gestores y enseñantes. Soluciones a los problemas medioambientales.* Madrid: Mundi Prensa.

SILVER, D. y VALLELY, B. (1998). *Lo que tú puedes hacer para salvar la Tierra.* Madrid: Lóguez Ed.

THE EARTH. WORKS GROUP (2000). *Manual práctico de reciclaje.* Barcelona: Blume.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia.* Madrid: Cambridge University Press.

Capítulo 12

Tierra y cielos: ¿Dos universos separados?

Jaime Carrascosa, Jordi Solbes y Amparo Vilches

Comentario preliminar. El estudio de la gravitación suele plantearse, básicamente, para facilitar el manejo operativo de las fuerzas gravitatorias. Se procede así, habitualmente en los últimos cursos de secundaria, a introducir la ley que determina el valor de la interacción gravitatoria, el concepto de campo gravitatorio, la medida de su intensidad, su estudio energético, etc., con una atención particular al campo gravitatorio terrestre.

Es poco frecuente, sin embargo, que se resalte debidamente lo que supuso el establecimiento de la Ley de la Gravitación *Universal* como culminación de una impresionante –y en muchos sentidos dramática– revolución de las ideas sobre el universo y el lugar de la Tierra en el mismo, que marcó el nacimiento de la ciencia moderna frente al dogmatismo religioso y su negación de la libertad de investigación.

Nuestro propósito con este programa de actividades, por el contrario, es permitir que los estudiantes participen, en alguna medida, en la reconstrucción de ese proceso auténticamente revolucionario que condujo desde la aceptación incuestionable del sistema geocéntrico, al surgimiento del modelo heliocéntrico y al establecimiento de la Ley de la Gravitación Universal. Y resaltar, insistimos, sus enormes implicaciones en nuestras concepciones del universo y en las actuales formas de vida. De este modo, los estudiantes pueden asomarse a aspectos fundamentales de la actividad científica que a menudo son ignorados en la enseñanza y que pueden contribuir a mostrar su naturaleza de desafío apasionante. Algo absolutamente necesario para romper con el creciente desinterés hacia los estudios científicos y, como ha mostrado la investigación didáctica, para un mejor aprendizaje de los conocimientos implicados.

En ese sentido, es necesario salir al paso de la preocupación que algunos pueden sentir de que detenerse "en estas cosas del pasado" es poco menos que perder el tiempo, dificultando así la adquisición de los conocimientos que los alumnos realmente necesitan. Por otra parte, es preciso insistir en algo que la investigación ha mostrado con claridad: nada resulta tan negativo para el aprendizaje de los conceptos como el reduccionismo conceptual.

INTRODUCCIÓN

Ya hemos estudiado que las fuerzas constituyen la causa de los cambios en el movimiento de los cuerpos. Conviene ahora, en primer lugar, detenerse brevemente en la consideración de los diferentes tipos de interacciones y su naturaleza.

A.1. Enumeren los diferentes tipos de fuerzas que conozcan.

Comentarios A.1. Una vez estudiados los principios de la dinámica, y antes de abordar con más profundidad el estudio de una fuerza particularmente importante -la gravitatoria-, conviene tratar brevemente los diferentes tipos de interacción. Los estudiantes se suelen referir a una gran variedad de fuerzas, como, por ejemplo, fuerza de rozamiento, eléctrica, magnética, elástica, de gravedad, atómica, nuclear, de tensión, peso, etc., lo que, en muchos casos, son en realidad diferentes nombres o casos particulares de un mismo tipo de interacción.

Conviene, pues, detenerse en la clarificación de cuáles son las interacciones básicas y su relación con las propiedades de la materia, resaltando que en las experiencias de la vida cotidiana las fuerzas que intervienen son de naturaleza gravitatoria (todos los cuerpos pesan) o electromagnética (tensiones, rozamiento, etc.). Es de suponer que en el estudio de los principios de la dinámica se habrá clarificado la idea de fuerzas de inercia como "seudofuerzas", es decir, como "evidencias" de sentido común que no están asociadas a interacción alguna. En caso contrario, resulta necesario dedicarles una cierta atención, analizando algunas situaciones de la vida diaria (vehículo que frena o gira, etc.), lo que contribuirá a una profundización de los principios de la dinámica.

Es una buena ocasión para señalar la importancia de los esfuerzos de unificación que han tenido lugar (¡y siguen teniendo!) en este campo y que, aunque se trata todavía de una cuestión abierta que se estudiará en cursos posteriores, existen tres formas de interacción básicas: la electromagnética, la gravitatoria –en las que vamos a detenernos ahora– y la nuclear (que, en realidad, son dos: la "nuclear fuerte" y la "débil").

Una vez analizada la existencia de diferentes tipos de interacciones**,** vamos a dedicar el estudio de este tema a una interacción en particular, la gravitatoria, para lo cual conviene que nos planteemos en primer lugar la siguiente actividad:

A.2. ¿Qué interés puede tener el estudio de la fuerza gravitatoria?

Comentarios A.2. Se trata de una actividad crucial en el inicio del estudio de cualquier tema, que aquí permitirá a los estudiantes reflexionar acerca de la importancia de la fuerza de gravedad en la vida cotidiana, de su presencia constante en todo aquello que realizamos cada día, relacionando el estudio que se inicia con los capítulos anteriores y el resto del programa. En este nivel, la mayoría de los grupos suele hacer referencia también a su importancia en el movimiento de los planetas, las estrellas, galaxias y satélites artificiales de la Tierra, los vuelos tripulados alrededor de la Tierra y a la Luna, etc. Sin embargo, la vinculación entre la fuerza gravitatoria sobre los objetos en la superficie terrestre y la atracción entre los astros no es tan obvia y, como sabemos, ha planteado históricamente serias dificultades, en las que resulta conveniente detenerse, pues están asociadas a lo que puede considerarse la primera gran revolución científica.

Estas discusiones iniciales permiten, pues, resaltar la importancia del estudio de la gravitación, comprender el interés del tema que se va a abordar, lo que facilita, a su vez, la toma de decisiones acerca de lo conveniente del estudio, la aproximación cualitativa al mismo, la posterior formulación de problemas concretos, etc.

Estamos ahora en situación de plantearnos qué es lo que nos interesaría estudiar acerca de la gravitación.

A.3. Formulen preguntas que puedan resultar de interés para el estudio de la gravitación.

Comentarios A.3. Las preguntas que los estudiantes sugieren ahora se refieren, normalmente, a cuestiones como**:** ¿qué relación existe entre la fuerza gravitatoria sobre los cuerpos y el movimiento de los planetas o de los cuerpos en el universo?, ¿por qué no suelen relacionarse ambos fenómenos?, ¿cuál es la naturaleza de esta interacción? También suelen mostrar preocupaciones sobre sus propias concepciones de los cuerpos del sistema solar, del universo, sus relaciones, cómo ha evolucionado históricamente la concepción del universo, por qué han existido y existen tantas dificultades para comprenderlo, así como a aspectos relativos a la utilidad y a las repercusiones que tiene todo esto en el ámbito tecnológico, en nuestra forma actual de entender el universo, en la vida diaria, en el medio, etc.

Las preguntas formuladas pueden dar pie a la introducción del índice del tema, justificando el interés de un aborde siguiendo un hilo conductor histórico, para poder comprender mejor las dificultades, los problemas que hubo que enfrentar y superar, así como sus implicaciones de todo tipo.

Se trata, pues, de iniciar el estudio de un capítulo excepcional desde el punto de vista no sólo científico, sino didáctico, en el que se abordarán con detenimiento, como iremos viendo, aspectos que van a contribuir de forma relevante a mostrar una imagen de la ciencia contextualizada, en toda su riqueza y complejidad: aprovechando los acontecimientos históricos para una mayor comprensión de los conocimientos científicos, considerando los problemas planteados que llevaron a la construcción de dichos conocimientos, abordando las dificultades ideológicas con las que, a lo largo de muchos años, numerosos científicos tuvieron que enfrentarse (persecuciones, condenas...) y, muy en particular, aproximándonos al surgimiento de un nuevo paradigma, basado en unas mismas leyes para todo el universo y fruto del trabajo de muchas personas (Copérnico, Kepler, Galileo, Newton y un largo etcétera), que unificaba la mecánica terrestre y celeste, poniendo fin a una de las barreras que habían impedido el avance científico a lo largo de más de veinte siglos. Por último, nos va a permitir asomarnos al estudio de una de las ciencias más antiguas, la astronomía, que hoy día sigue despertando un gran interés, no sólo por sus aplicaciones y sus grandes avances tecnológicos, sino porque también nos ayuda a resolver uno de los más antiguos problemas: conocer nuestro lugar en el universo.

Una vez planteadas las posibles cuestiones, se puede presentar a los estudiantes un índice que recoja los aspectos que se van a desarrollar en el tema y que permitirá ir respondiendo a las preguntas formuladas:

1. Antecedentes: primeras ideas sobre el universo.
2. El sistema geocéntrico.

3. El modelo heliocéntrico.
4. La gravitación universal. La síntesis newtoniana.
5. Algunas consecuencias e implicaciones de La ley de la Gravitación Universal.

Después de formular las cuestiones que nos preocupan e interesan, pasamos a abordar el primer apartado del estudio de la interacción gravitatoria.

1. ANTECEDENTES: PRIMERAS IDEAS SOBRE EL UNIVERSO

La mayor parte de los pueblos y civilizaciones, a lo largo de la historia, han elaborado modelos sobre el universo, tratando de explicar los movimientos del Sol, la Luna o las estrellas. El estudio de la astronomía, del movimiento de los astros, jugó desde el principio un importante papel en las diferentes religiones y culturas.

A.4. ¿Qué importancia práctica tuvieron en la antigüedad los conocimientos astronómicos?

Comentarios A.4. Una de las más importantes aplicaciones prácticas de la astronomía ha consistido en la información que nos proporciona para facilitar la orientación o medir el paso del tiempo y establecer un calendario, algo fundamental en todas las actividades que desarrollamos (desde la antigüedad, en que ya resultaba imprescindible para regular actividades como la agricultura, la caza, etc.). A los alumnos les resulta interesante conocer. Por ejemplo, que hacia el año 2000 antes de nuestra era los egipcios regulaban su calendario por los movimientos de la estrella Sotkis, que salía justo antes del alba por la época de la inundación del Nilo. En aquella misma época, los habitantes de Mesopotamia realizaron precisas mediciones astronómicas. Basaban sus mediciones del tiempo en el mes lunar, y el año constaba de 360 días dividido en 12 meses de 30 días cada uno, bautizando los días por el Sol, la Luna y cinco planetas. Otra de sus aportaciones fue la división del día en 12 horas dobles y de la hora en minutos y segundos sexagesimales.

También fueron muy notables los avances realizados por amerindios. Podemos referirnos así, por ejemplo, a la "rueda de la medicina", de los saskatchewan, construida hacia el siglo VI a. de C., que constituye el observatorio astronómico más antiguo de América y que señala la salida del Sol cada solsticio de verano. Tenemos otro ejemplo en el Cañón del Chaco, en Nuevo México, donde los anasazi construyeron un observatorio para medir el paso de las estaciones. También merecen mención las tres losas del suroeste norteamericano, cuyas espirales como galaxias constituyen un sistema único para leer el calendario en el cielo, utilizando el sol del mediodía. Y, por mencionar un último ejemplo, se sabe que los mayas elaboraron tres precisos calendarios basados en el Sol, la Luna y Venus, así como que el edificio conocido como El Caracol, en la ciudad maya de Chichen Itza, pudo haber servido de observatorio astronómico. Y hay que señalar que para todas aquellas culturas, la posibilidad de leer el calendario en el cielo para salir de caza, reunirse, sembrar o segar, etc., era frecuentemente una cuestión de la mayor importancia.

No debemos olvidar, sin embargo, que las observaciones astronómicas estuvieron asociadas, desde sus orígenes, a confusas creencias astrológicas, en las que vale la pena detenerse, dado que la astrología mantiene hoy su presencia (y, desgraciadamente, su atractivo) en ciertos sectores culturales.

Conviene señalar que en la antigüedad, viendo la importancia práctica de la astronomía en la agricultura, la navegación, etc., se llegó a suponer que los cuerpos celestes influían en los asuntos de las personas. Incluso en algunas civilizaciones se los consideraba como dioses.

A.5. ¿A qué puede atribuirse la creencia de que los astros influyen sobre la vida de las personas? ¿Qué valor puede darse hoy a dichas creencias?

Comentarios A.5. Resulta hasta cierto punto lógico que al comprobar cómo la posición del Sol (los solsticios de verano e invierno y los equinoccios) determina las estaciones y éstas, a su vez, las cosechas, se atribuyera a los cuerpos celestes poder sobre los asuntos humanos (e incluso se los divinizara). La astrología se fue desarrollando, pues, como una extraña combinación de observaciones meticulosas y datos y cálculos matemáticos, acompañados de creencias y pensamientos confusos y, en muchos casos, de enormes mentiras. Por ejemplo, la posibilidad de predecir fenómenos inexplicables para la mayoría, como los eclipses, concedía poder e influencia a los sacerdotes egipcios encargados de las observaciones.

De hecho, durante muchos siglos, resulta prácticamente imposible separar los avances astronómicos de las concepciones astrológicas. Astrónomos de la talla de Ptolomeo mantuvieron creencias astrológicas.

Hoy sabemos, sin embargo, que reconocer la importancia del Sol en las estaciones, el ritmo día/noche, la agricultura, la temperatura, etc., o que la Luna controla las mareas, no puede llevar a sostener que el destino de las personas está influido por los astros. No hay ningún argumento científico ni ninguna recopilación sistemática de observaciones que avalen dichas creencias ingenuas, muy al contrario. Es preciso, pues, denunciar el carácter anticientífico de estas creencias, que siguen siendo explotadas hoy en día por desaprensivos. Como sabemos, algunos medios de comunicación siguen avalando estas creencias publicando horóscopos cada semana (en los que se ve fácilmente que predicen cosas distintas o lo suficientemente ambiguas para que sirvan en cualquier caso), realizando numerosos programas sobre astrología, personas que predicen el futuro, médiums, etc. Y aunque muy a menudo dichos programas tengan una intención fundamentalmente lúdica, son muchos los ciudadanos que los toman en serio.

Resulta necesario, pues, clarificar estas cuestiones y que los estudiantes comprendan que la astronomía es una ciencia que estudia el universo, mientras que la astrología es una seudociencia que pretende, sin pruebas (o, más bien, sin tener en cuenta todas las pruebas en contra), que los planetas influyen en nuestras vidas personales. Y si en tiempo de Ptolomeo la distinción entre ambas no era clara, hoy día sí lo es.

Hasta aquí nos hemos referido al papel de las observaciones astronómicas en cuestiones prácticas de gran interés, como el establecimiento del calendario, la facilitación de los desplazamientos gracias a la orientación que proporciona la posición de los astros, etc. Pero algunas de sus mayores contribuciones están relacionadas con la comprensión del lugar de la Tierra en el universo, una cuestión asociada también, en todas las culturas, a las ideas religiosas que intentan explicar nuestro origen. Merece la pena realizar algunas observaciones que nos familiaricen con la visión del firmamento que nuestros antecesores pudieron obtener y que influyeron en sus creencias sobre el universo. Contemplar el paisaje celeste, además, es algo que merece la pena en sí mismo, por razones puramente estéticas.

A.6. Procedan a observar el cielo nocturno y poner en común las observaciones realizadas. Anoten la hora en que se realizó la observación y dibujen un "mapa" celeste, indicando mediante puntos los objetos más luminosos.

Comentarios A.6. Los primeros resultados que cabe esperar de muchos estudiantes en esta actividad van a mostrar la dificultad de realizar observaciones en la gran mayoría de nuestras poblaciones. Ello puede dar pie al inicio de una discusión acerca de los problemas que plantea la contaminación atmosférica y, muy particularmente, la lumínica, que nos está privando literalmente del paisaje celeste, además de afectar a los ciclos vitales de las plantas y los animales que viven en las ciudades, incluidos los seres humanos. Se trata de un aspecto sobre el que incidiremos en una próxima actividad (A.8).

Resulta muy ilustrativo del empobrecimiento que sufre el paisaje celeste al que tenemos acceso, cotejar los mapas celestes dibujados por los estudiantes con un planisferio (a estos efectos puede ser conveniente utilizar algunos de los programas informáticos existentes). Con ayuda del mismo se puede mostrar la existencia de agrupaciones de estrellas o constelaciones, descritas desde los tiempos más remotos y que han jugado un papel esencial para orientar a los viajeros, aunque ese paisaje varía, por supuesto, según estemos en el hemisferio norte o en el sur.

Esta "recuperación" del paisaje celeste se convierte en una actividad particularmente atractiva para muchos estudiantes. Es conveniente, pues, incluir actividades como las siguientes y, a ser posible, organizar observaciones en lugares alejados de las ciudades.

A.7. Localicen en un planisferio las estrellas y constelaciones que conozcan.

A.8. Aunque en la actualidad es difícil observar el cielo nocturno en las ciudades, por la contaminación atmosférica y lumínica, debida a la luz ambiental, aprovechen una noche estrellada para localizar algunas constelaciones (en el hemisferio norte, las Osas Mayor y Menor, Casiopea, Orión...; en el sur, la Cruz del Sur...). ¿Qué problemas plantea la contaminación lumínica y cuáles pueden ser las soluciones que se deberían adoptar?

A.9. ¿Qué idea acerca del movimiento de los astros sugieren observaciones del cielo como las que hemos realizado? Con otras palabras, ¿qué idea pudieron formarse al respecto los antiguos observadores del cielo?

Comentarios A.7 a A.9. Una de las observaciones de mayor interés realizada desde los tiempos más remotos es que la mayoría de estrellas no parece cambiar su posición relativa. Estas denominadas estrellas fijas forman en el cielo un esquema inmutable. Los babilonios dieron nombres a las constelaciones o grupos visibles de ese esquema, aunque nosotros usamos los nombres griegos o sus traducciones latinas. También hay muchos nombres de estrellas procedentes de los árabes, que fueron excelentes astrónomos.

Son conocidos, pues, diferentes nombres que a lo largo de siglos fueron dándose a los grupos de estrellas. Si nos situamos en el hemisferio norte, por ejemplo, podemos mencionar algunos de los que se daban a la Constelación Boreal, llamada: en Norteamérica, El Gran Cucharón en Francia, La Cacerola en Inglaterra, El Arado en China, El Burócrata Celeste en la Europa medieval, El Carro, y en la antigua Grecia, La Cola de la Osa Mayor.

Estas observaciones sistemáticas fueron dibujando un mapa celeste en el que la mayoría de los astros parecían fijos sobre una superficie esférica que giraba alrededor de la Tierra. También, la observación del movimiento del Sol y de la Luna llevaba a pensar en su giro alrededor de la Tierra. Los estudiantes pueden realizar observaciones semejantes. Pero conviene llamar la atención sobre otros cinco objetos celestes, visibles a simple vista, conocidos como Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, cuyas trayectorias no parecen tan regulares y que fueron denominadas por ello "planetas", palabra que en griego significa "errantes", es decir, objetos con una trayectoria errática, poco regular.

Como sabemos, esta "pequeña irregularidad" estuvo llamada a jugar un papel fundamental en la dramática evolución de las concepciones acerca del lugar de la Tierra en el universo (muy ligadas a las creencias religiosas), por lo que debe ser destacada.

Al margen de establecer este hecho fundamental del giro aparente de la inmensa mayoría de los objetos celestes en torno a la Tierra –con la sola excepción de los planetas–, con estas actividades se pretende que los estudiantes comiencen a familiarizarse con el cielo nocturno, así como con el uso del planisferio. Algo que deberá ir realizándose a lo largo del tema y, en particular, en los últimos apartados, cuando abordemos una visión más actual del universo, ya que en el planisferio se presentan también nebulosas, cúmulos de estrellas y galaxias, etc.

La A.8 constituye, además, una buena oportunidad para hacer referencia y contribuir a la reflexión en torno a la gravedad de la contaminación atmosférica y, singularmente, lumínica. Se trata esta última de un problema al que no se suele prestar atención y que, sin embargo, no sólo en las ciudades altera el ciclo vital de los seres vivos, sino que además impide, como han denunciado los astrónomos, la observación del cielo, por lo que nos vemos privados de ese elemento esencial del paisaje que durante miles de años ha ofrecido el cielo estrellado. Por eso, la UNESCO ha declarado formalmente que el cielo oscuro es un derecho de las generaciones futuras (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

Para hacer énfasis en la influencia de la astronomía en la antigüedad en todos los ámbitos se puede proponer, si se considera adecuado, una redacción alternativa a la A.7, como: *Localicen en el planisferio la polar, las estrellas y constelaciones que menciona Homero en* La Odisea *(canto V, versículos 262-282): "(Ulises) comenzó a regir hábilmente la nave con el timó,..., fijos los ojos en las Pléyades y el Boyero, que se pone muy tarde, y la Osa, llamada por sobrenombre el Carro, la cual gira siempre en el mismo lugar, acecha a Orión y es la única que no se baña en el océano. Pues Calipso, insigne entre las diosas, le había ordenado que tuviera la Osa a mano izquierda durante la travesía"*.

Las percepciones que tenemos hoy día acerca de los planetas o del Sol, y sus movimientos, que nos parecen algo familiar, evidente, en realidad no lo son en absoluto. Para llegar a la comprensión actual fue necesario un proceso largo en el que no faltaron ni persecuciones ni condenas entre los que defendían ideas distintas a las que se venían manteniendo durante más de veinte siglos. Al estudio de todo ello dedicaremos los siguientes apartados.

2. EL SISTEMA GEOCÉNTRICO

Desde la antigüedad se tenía una imagen del sistema solar y en general del universo conocido que se denominó geocentrismo, ya que se pensaba que la Tierra era el centro de todo.

A.10. Los antiguos griegos pensaban que la Tierra era el centro del universo, estaba inmóvil, y que el Sol y el resto de los astros se movían a su alrededor. ¿En qué creen que se basaban para pensar así, además de en sus observaciones astronómicas?

Comentarios A.10. Algunos estudiantes se refieren también, además de a las observaciones astronómicas que venimos estudiando, a otras experiencias cotidianas, como, muy especialmente, el hecho que no notemos el movimiento de la Tierra. El reposo de la Tierra aparecía, efectivamente, como algo "evidente" e incuestionable y estaba relacionado con otras evidencias "de sentido común", como la tendencia al reposo de los objetos terrestres, mientras los astros giraban indefinidamente. La aceptación general de este sistema geocéntrico queda puesta en evidencia por el mismo lenguaje ordinario, lleno de expresiones como, por ejemplo, "el Sol sale por...". Los estudiantes comprenden así que estas ideas no eran descabelladas, sino que se apoyaban, como hemos visto, en experiencias de la vida cotidiana.

Conviene tener presente, por otra parte, que si bien los estudiantes no sostienen hoy el modelo geocéntrico, ya que conocen los movimientos de la Tierra, así como la estructura del sistema solar, sí poseen, como iremos viendo en el desarrollo del capítulo, concepciones que les hacen pensar que la explicación del movimiento de los cuerpos en la Tierra y sus proximidades es distinta a la de los cuerpos muy alejados de ella, manteniendo todavía, en alguna medida, una clara diferencia entre los mundos celeste y terrestre. Conviene, por lo tanto, que vayan saliendo a la luz sus concepciones, de las que nos ocuparemos a lo largo del desarrollo del capítulo. De este modo, el estudio de la evolución de los modelos acerca de la estructura del universo representa para ellos un verdadero enriquecimiento, que no tiene lugar cuando nos limitamos a transmitir los conocimientos actualmente aceptados.

Una exposición ya muy elaborada de este sistema geocéntrico la encontramos en Aristóteles (384-322 antes de nuestra era). Aristóteles no se limitó a explicar las observaciones astronómicas, sino que integró gran parte de los conocimientos de la época acerca del comportamiento de los objetos celestes y terrestres. Básicamente, dicho sistema sostenía que la Tierra está en reposo en el centro del universo y que todos los astros giran con movimientos circulares en torno a la misma. La aparente inmutabilidad del firmamento, en contraste con los continuos cambios observados, condujo a una visión jerárquica, con una clara distinción entre el mundo sublunar (lugar de imperfección, de objetos corruptibles, que tienden al reposo en ausencia de fuerzas) y el mundo celeste (lugar de perfección formado por esferas incorruptibles, eternas, dotadas de un movimiento perenne, circular uniforme, también perfecto).

Puede ser interesante detenerse en mostrar –proporcionando alguna información elemental al respecto (Holton y Roller, 1963; Sagan, 1980; Gil-Pérez, 1981; Holton, Rutherford y Watson, 1982; Holton y Brush, 1996; Mason, 1985)– cómo el sistema explicaba los cambios observados en la Tierra a partir de la existencia y combinación de cuatro elementos o "esencias" (tierra, agua, aire y fuego), así

como la perennidad del mundo celeste, formado por una "quinta esencia", de perfección absoluta.

Este sistema fue perfilándose con numerosas contribuciones, particularmente en el mundo de la astronomía. Muy importante, a este respecto, es el período alejandrino, etapa de esplendor de Alejandría y su museo (siglos III y II antes de nuestra era), que fue en realidad la primera universidad que ha existido en el mundo. En ella estudiaron y trabajaron la mayor parte de los científicos de este período, como Euclides, Aristarco, Arquímedes, Eratóstenes, Hiparco, Herón, Ptolomeo y la propia Hipatia, filósofa y astrónoma que murió lapidada a causa del fanatismo y la incomprensión hacia su trabajo, como astrónoma y como mujer. Todo ello es una buena ocasión para mostrar el carácter colectivo de la ciencia, fruto del trabajo de muchas personas, así como las dificultades con que se enfrentaron las mujeres en ese ámbito. Conviene destacar especialmente las aportaciones de Ptolomeo, cuyo libro sobre astronomía fue calificado por los árabes con el nombre de "Almagesto" (lo que significa "el mejor de los libros") y lo expandieron por toda la Europa medieval.

El sistema geocéntrico era, pues, aceptado en todo el mundo influido por las culturas griega, latina y árabe, llegando a estar vigente durante más de veinte siglos. Conviene detenerse en explicar esta extraordinaria vigencia para mejor comprender la oposición que generó su cuestionamiento en lo que constituyó, volvemos a insistir, la primera gran revolución científica.

A.11. ¿Cómo se explica la gran aceptación del modelo geocéntrico y su persistencia a lo largo de más de veinte siglos?

Comentarios A.11. Para explicar la vigencia del modelo geocéntrico durante más de veinte siglos es preciso referirse, en primer lugar, a su compatibilidad, que ya hemos señalado, con el sentido común. Pero es preciso tener presente también que dicho sistema encajaba perfectamente con la tradición, la filosofía, la religión y, en general, todos los ámbitos culturales de la Europa influida por las culturas griega, latina y arábiga.

La Iglesia católica, por ejemplo, favorecía el sistema aristotélico-ptolemaico, pues su visión se acomodaba muy bien a la idea cristiana de seres humanos: únicas criaturas creadas a la imagen de Dios, que constituyen su obra central. Pero esta visión estratificada del universo, que diviniza el cielo como lugar de perfección, estaba ya vigente en la Grecia clásica y daba soporte a la propia jerarquización social, es decir, el sometimiento de los "inferiores" (esclavos, mujeres, simples campesinos...) a los "superiores" (hombres libres, clero, nobleza...).

Es muy conveniente detenerse en discutir estas implicaciones del modelo en el ámbito de las relaciones CTSA, que permiten comprender por qué fue tan difícil su superación y los numerosos obstáculos a los que hubo que enfrentarse para el establecimiento de un nuevo modelo.

El modelo geocéntrico tuvo vigencia durante casi veinte siglos, desde Aristóteles hasta el siglo XVI, donde empezó a desmoronarse debido a la imposibilidad de resolver algunos problemas en el marco de dicho modelo. Al análisis de estos problemas y surgimiento del nuevo modelo dedicaremos el siguiente apartado.

3. EL MODELO HELIOCÉNTRICO

En el año 1543, pocos días después de la muerte de su autor, se publicó la obra *De revolutionibus orbium coelestium* "Sobre las revoluciones de las esferas celestes", de Nicolás Copérnico (1473-1543), astrónomo y sacerdote nacido en Torum (Polonia). En ella se proponía un nuevo modelo del universo, donde la Tierra perdía su papel central, inmóvil, y era el Sol el que constituía el centro del universo. Este nuevo modelo, denominado heliocéntrico y desarrollado e impulsado después por otros muchos científicos, fue atacado durante más de cien años, siendo perseguidos, y muchas veces condenados, sus defensores.

A.12. Indaguen y expongan cuáles pudieron ser las razones que llevaron a cuestionar el sistema geocéntrico.

A.13. El modelo heliocéntrico fue atacado, entre otros, con los siguientes argumentos: Si la Tierra se mueve, ¿no debería quedarse retrasado un objeto que cae hacia el suelo?, y ¿no deberíamos ver que la posición relativa de las estrellas se modifica al irse desplazando la Tierra a lo largo de su trayectoria? Planteen posibles respuestas para cada uno de dichos argumentos.

Comentarios A.12 y A.13. Merece la pena detenerse en las razones que hicieron poner en duda el sistema geocéntrico. El hecho principal que llevó a cuestionarlo fue la sistemática discrepancia entre los datos proporcionados por observaciones astronómicas cada vez más precisas y las predicciones de dicho sistema para el movimiento de los planetas. La idea de que todo astro debía girar con movimiento circular uniforme en torno a la Tierra, o en torno a puntos que giraran alrededor de la misma, no permitía realizar predicciones aceptables, pese a que en la época de Copérnico se había llegado a suponer la existencia de hasta 70 (!) movimientos circulares simultáneos para explicar la trayectoria de Marte.

La complejidad creciente del modelo para explicar la trayectoria errática de los planetas y las discrepancias, pese a ello, con los datos experimentales, llevaron a Copérnico a buscar alguna otra posible explicación. Resulta interesante señalar que Copérnico recurrió a la historia para ver si alguien había imaginado otras posibles explicaciones del movimiento de los astros. Así lo reconoce en *De Revolutionibus* y se refiere a que autores griegos como Nicetas o Aristarco habían ya imaginado que el Sol podía ser el centro del universo y que todos los demás astros, incluida la Tierra, giraban en torno al mismo.

Copérnico mostró en su libro que si se aceptaba esta estructura del universo, las predicciones del modelo se ajustaban bastante más a las observaciones, dejando de ser necesarias tantas enrevesadas combinaciones de movimientos circulares para explicar el movimiento de un planeta como Marte.

Copérnico era consciente, sin embargo, de que sus ideas iban a despertar un amplio rechazo, y eso le llevó a contemplar posibles argumentos en contra y a responder cuidadosamente a cada uno de ellos. Los estudiantes pueden concebir algunos de estos argumentos en contra del modelo heliocéntrico. Por ejemplo, si la Tierra se mueve, ¿no debería quedarse retrasado un objeto que cae hacia el suelo? ¿Y no deberíamos ver que la posición relativa de las estrellas se modifica al irse desplazando la Tierra a lo largo de su trayectoria? Copérnico argumentó, en este último caso, que si la circunferencia que recorre la Tierra es muy pequeña en comparación

con la distancia a la que se encuentran las estrellas, es lógico que no se aprecien cambios en las posiciones relativas de las mismas (si dibujamos una pequeña circunferencia y tres cruces bastante alejadas, podemos constatar que, desde cualquier posición de la circunferencia, la posición relativa de las tres cruces se ve idéntica). Respecto a que si la Tierra se moviera el aire tendería a quedarse atrás, nos remitimos al principio de superposición de movimientos establecido por Galileo, que hemos estudiado en cinemática (aunque Copérnico no pudo utilizar argumentos tan claros) y que cualquier observación de la caída de un objeto en el interior de un vehículo en movimiento confirma: no hay retraso alguno.

Pero el principal argumento en contra del modelo heliocéntrico fue de tipo ideológico, al considerar que dicho modelo contradecía a la Biblia, a la que las autoridades religiosas consideraban expresión de la verdad revelada e incuestionable en todos los ámbitos (Sánchez Ron, 1999). Fue este dogmatismo religioso el que generó la mayor oposición a las nuevas ideas, perseguidas por la Inquisición, que incluyó *De Revolutionibus* en el *Índex Librorum Prohibitorum*, pese a que Copérnico hizo notables esfuerzos para convencer de que el nuevo modelo todavía era más acorde con la grandeza de la obra divina y mantuvo la creencia en la mayoría de las tesis del modelo geocéntrico, como la idea de la perfección de los movimientos circulares de los astros, etc. Tuvo lugar así una dramática confrontación entre quienes defendían la libertad de pensamiento e investigación y quienes negaban dichas libertades en nombre de dogmas religiosos. Una confrontación que marcó el nacimiento de la ciencia moderna y en cuyo análisis merece la pena detenerse mínimamente.

Pese a la oposición religiosa, muchos astrónomos comprendieron el valor de las ideas de Copérnico y contribuyeron a confirmarlas y extenderlas, aunque ello les enfrentó a persecuciones y condenas.

A.14. Consulten algún texto de historia de la ciencia para conocer qué otros astrónomos contribuyeron a cuestionar el sistema geocéntrico y a mostrar la validez del modelo heliocéntrico. Indiquen cuáles fueron sus principales aportaciones.

Comentarios A.14. Con esta actividad se pretende, en primer lugar, que los estudiantes se asomen a la historia de la ciencia (se les pueden sugerir libros, videos, CD's) y conozcan su capacidad para contextualizar el desarrollo científico y mostrar su carácter de aventura colectiva. El establecimiento del modelo heliocéntrico fue, efectivamente, el trabajo de muchas personas, que tuvieron que enfrentarse a serios problemas, ya que sus ideas cuestionaban, como ya hemos señalado, más allá del sistema geocéntrico, la visión jerárquica de la sociedad, que negaba la libertad de pensamiento e investigación en nombre de los dogmas religiosos.

Entre las principales aportaciones es preciso mencionar a Johannes Kepler (1571-1630) y a Galileo (1564-1642). El primero fue un astrónomo alemán que trabajó con el también astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) y utilizó sus datos para perfeccionar el sistema heliocéntrico y para buscar regularidades en el sistema solar, que le condujeron a enunciar, tras años de trabajo, tres importantes leyes que llevan su nombre. La primera de ellas señalaba que las órbitas de la Tierra y demás planetas alrededor del Sol no son circulares, sino elípticas, encontrándose el Sol en uno de sus focos. De este modo, Kepler fue más lejos que el propio Copérnico en el cuestionamiento del modelo geocéntrico, pues se atrevió a imaginar

movimientos celestes que no poseían la perfección del circular uniforme. Pero las observaciones astronómicas se ajustaban mucho mejor a órbitas elípticas que a las circulares, y eso prevaleció, a los ojos de Kepler, sobre la aceptación de la perfección de los cielos. La segunda establecía que la velocidad areolar de un planeta (área barrida por el vector de posición del planeta respecto al Sol en la unidad de tiempo) es constante, lo que supone que el planeta se mueve más rápidamente cuando está más cerca del Sol. Y la tercera, que el período de un planeta aumenta cuando lo hace el radio medio de su órbita, cumpliéndose la relación $T^2 = K \cdot R^3$.

Tan importante o más que la aportación de Kepler fue la de Galileo, en la que conviene detenerse por la relevancia que adquirió su caso en la confrontación entre la nueva ciencia y el dogmatismo religioso.

Una gran contribución al nuevo modelo fueron las observaciones astronómicas de Galileo 1564-1642. El telescopio, que él mismo construyó, mejorando el inventado con otros fines por los fabricantes de lentes holandeses (denominado "tubo ampliador"), le permitió descubrir, entre otras cosas, la existencia de manchas en la superficie del Sol, cráteres y montañas en la Luna y la existencia de satélites en torno a Júpiter.

A.15. Comenten qué aspectos clave del modelo geocéntrico resultaban cuestionados por las observaciones realizadas por Galileo con la ayuda del telescopio. Señalen, igualmente, el papel jugado en todo ello por el nuevo instrumento.

Comentarios A.15. De las observaciones realizadas por Galileo con ayuda del telescopio, las correspondientes a las irregularidades (relieves) de la Luna o a las manchas solares (que le permitieron, además, demostrar que el Sol giraba alrededor de su eje en veintisiete días) venían a cuestionar drásticamente la supuesta perfección atribuida a los objetos celestes y con ello la idea de una drástica separación entre el cielo y la Tierra. Estableció, por tanto, la mutabilidad en el cielo que negaban los aristotélicos y ptolemaicos. En cuanto a los satélites de Júpiter, junto con el giro del Sol, echaban por tierra la tesis básica del sistema geocéntrico de que todos los objetos celestes debían girar en torno a la Tierra. También observó que Venus presentaba fases análogas a las lunares, lo que le permitió afirmar que los planetas brillaban por la luz reflejada del Sol. Como consecuencia de todo ello pensó que había llegado el momento de defender el nuevo modelo públicamente y con ese fin fue publicando sus descubrimientos en opúsculos que denominó *Sidereus Nuncius* "El mensajero sideral", cuya aparición generaba apasionados debates.

Puede ser interesante, a este respecto, leer algún fragmento de la obra *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*, a la que nos referiremos más adelante, sobre las repercusiones de sus observaciones de los cometas y las manchas solares (ver pp. 52-56 del libro citado de Sánchez Ron, 1999).

Esta actividad puede ser una buena ocasión para poner de manifiesto las complejas interacciones entre la ciencia y la tecnología, saliendo al paso de la consideración simplista de la tecnología como mera aplicación de la ciencia. En efecto, fue la existencia del telescopio (un artefacto tecnológico) lo que hizo posible observaciones fundamentales en apoyo del modelo heliocéntrico. Y esto es algo que encontramos a menudo en el desarrollo de la ciencia y sobre lo que conviene insistir siempre que haya ocasión. Por eso es necesario clarificar, atendiendo al desarrollo histórico de ambas, que la actividad técnica ha precedido en milenios a la ciencia,

que la tecnología no es, pues, un subproducto de la ciencia, un simple proceso de aplicación del conocimiento científico para la elaboración de artefactos. Y no se trata tan sólo de señalar el impulso que este u otros desarrollos tecnológicos pueden dar a la ciencia, como es el caso que nos ocupa del telescopio de Galileo. El punto de partida de la Revolución Industrial, por ejemplo, fue la máquina de Newcomen, que era fundidor y herrero. Como afirma Bybee (2000), "al revisar la investigación científica contemporánea, uno no puede escapar a la realidad de que la mayoría de los avances científicos están basados en la tecnología". Y ello cuestiona la visión elitista, socialmente asumida, de un trabajo científico-intelectual por encima del trabajo técnico.

Y volviendo a las contribuciones de Galileo, cabe destacar que los trabajos que realizó, mientras permaneció confinado, acerca del movimiento de los objetos terrestres, fueron igualmente subversivos para la imagen del universo defendida celosamente por la Inquisición. En efecto, como sabemos, sus estudios condujeron a cuestionar la idea de que hacía falta una fuerza para mantener un cuerpo terrestre en movimiento y a mostrar que la fuerza era sólo necesaria para *modificar* un movimiento. Las supuestas diferencias entre los movimientos celestes y terrestres comenzaban, así, a cuestionarse.

Pero Galileo se equivocó al pensar que hechos tan contundentes harían aceptar el sistema heliocéntrico. Por ello, al margen de sus notables contribuciones a la comprensión del comportamiento de la materia, celeste o terrestre, su vida y obra han quedado como paradigmas del enfrentamiento entre dogmatismo y libertad de investigación. Puede ser interesante a este respecto acercarse a la vida de Galileo, descrita en innumerables biografías, documentales, obras de teatro (*Galileo Galilei,* de Bertold Brecht) o películas (de Liliana Cavani o Joseph Losey).

A.16. Realicen un debate en clase sobre los problemas con los que tuvo que enfrentarse Galileo, después de ver fragmentos de alguna película o documental sobre su vida.

Comentarios A.16. La visión de películas, o fragmentos de las mismas, como las mencionadas en los comentarios de la actividad anterior, o bien el capítulo III de la serie *Cosmos* de Carl Sagan ("La armonía de los mundos"), pueden contribuir a que los estudiantes conozcan la apasionante aventura que supuso el surgimiento de la ciencia moderna. Cuando en 1632, Galileo, como consecuencia del permiso que le concedió el Papa Urbano VII para discutir el sistema copernicano en un libro, "siempre que diese una igual e imparcial discusión de los argumentos a favor del sistema ptolemaico" (Sánchez Ron, 1999), publica su obra *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano* (1632), en italiano y en forma de diálogo, haciéndola accesible a la sociedad, se inicia una auténtica persecución contra él, pese a su avanzada edad. Fue juzgado por la Inquisición, amenazado con tortura y obligado a renunciar a sus ideas, cosa que Galileo hizo para salvar su vida. De hecho, años atrás, en 1600, Giordano Bruno fue sometido a torturas para que abjurase de sus ideas (defensa del heliocentrismo, de la infinitud del universo y la existencia de un gran número de mundos habitados) y, al no hacerlo, fue quemado en la hoguera.

La abjuración de Galileo fue leída públicamente en todas las iglesias de Italia, siendo condenado a permanecer confinado hasta su muerte (que tuvo lugar en 1642) en una villa en el campo. En este encierro escribió *Discursos y demostraciones sobre*

dos nuevas ciencias pertenecientes a la mecánica y el movimiento global, que se publicó en Holanda, dado que en Italia sus libros estaban prohibidos. Cabe señalar que esta condena de las teorías de Galileo se ha prolongado varios siglos, hasta muy recientemente. El Vaticano no anunció hasta 1968 la conveniencia de anularla y sólo la hizo efectiva en 1992, mientras que desde la Congregación para la Doctrina de la Fe (ex Santo Oficio), todavía se pretende hoy justificar y exculpar a la Inquisición.

Vale la pena extender estas reflexiones acerca de la libertad de investigación y sus obstáculos a otros momentos de la historia de la ciencia y contribuir así a cuestionar el mito de su neutralidad.

A.17. Citen ejemplos de otros conflictos que, a lo largo de la historia de la humanidad, hayan enfrentado a la ciencia y la tecnología con posturas dogmáticas.

Comentarios A.17. La historia de la ciencia es pródiga, desgraciadamente, en conflictos entre dogmatismos y libertad de investigación. La quema de Miguel Servet por atreverse a investigar en el interior del cuerpo humano y la inclusión del *Origen de las especies* en el *Índex Librorum Prohibitorum*, oponiéndose a la revolución científica que supuso el evolucionismo, son dos de los casos más conocidos, que suelen ser señalados por algunos estudiantes. Pero los ejemplos pueden multiplicarse y llegar a nuestros días. Se puede mencionar, por ejemplo, la oposición frontal de determinados sectores de ideología conservadora a la investigación con células madre embrionarias.

Pero es importante que los estudiantes comprendan que el rechazo del heliocentrismo constituye el ejemplo más paradigmático de resistencia a la libertad de investigación y de oposición absoluta al avance científico. De hecho, como ya hemos señalado, la "rehabilitación" del heliocentrismo por la Iglesia católica tuvo que esperar a fines del siglo XX. La última gran contribución al hundimiento del modelo geocéntrico la constituye, sin duda, la obra de Newton, al mostrar que el giro de los objetos celestes eran movimientos "forzados", que carecía, pues, de fundamento la distinción entre movimientos terrestres (forzados) y celestes (naturales). De dicha contribución nos ocuparemos con detenimiento en el siguiente apartado.

Los fundamentos de la concepción aristotélico-escolástica del universo resultaron definitivamente cuestionados, como veremos en el siguiente apartado, gracias al establecimiento por Isaac Newton de la Teoría de la Gravitación Universal.

4. LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL. LA SÍNTESIS NEWTONIANA

Después de Copérnico y Galileo, fueron muchos los que abordaron el estudio del movimiento de los cuerpos celestes. Científicos ingleses, entre otros, como Hooke, Wren, Halley y, muy en particular, Newton (que nació el año 1642, precisamente el mismo que murió Galileo), enfocaron los problemas de forma diferente: utilizando el nuevo concepto de fuerza y los principios de la dinámica, estudiados en un capítulo anterior, analizaron la última gran diferencia supuestamente existente entre los movimientos terrestres y celestes.

A.18. Según la concepción aristotélico-escolástica del universo, el movimiento de los objetos celestes era considerado "natural", no sometido a fuerzas. ¿Qué argumentos podemos aducir para afirmar que, por ejemplo, la Luna no está sometida a fuerzas, o que sí lo está?

Comentarios A.18. Digamos de entrada que, como han mostrado numerosas investigaciones, muchas personas piensan que "un objeto en órbita no pesa", puesto que no "cae" hacia la Tierra. Así, cuando se pide a los estudiantes que "dibujen las fuerzas que actúan sobre un objeto que cae en las proximidades de la superficie terrestre y sobre un satélite puesto en órbita alrededor de la Tierra", muchos estudiantes consideran que la fuerza neta sobre el satélite ha de ser nula, puesto que "se encuentra en equilibrio". La separación cielo-tierra no es, pues, "una idea absurda del pasado", sino que responde al sentido común, como tantos otros aspectos del modelo aristotélico. Pero la aplicación consecuente de los principios de la dinámica llevaron a Newton –y ha de llevar a los alumnos– a comprender que si la Luna gira (cambia la dirección de la velocidad), debe estar actuando sobre ella alguna fuerza resultante, ya que si no llevaría un movimiento rectilíneo uniforme. ¿Pero cuál podría ser esa fuerza?

A.19. El giro de la Luna alrededor de la Tierra o de los planetas alrededor del Sol obligó a Newton a admitir que se trataba de movimientos forzados. Pero, ¿cuál podría ser esa fuerza? ¿Cuál fue la gran intuición de Newton al respecto?

Comentarios A.19. La gran intuición de Newton, facilitada por los pasos dados por sus predecesores, fue atreverse a pensar que la misma fuerza que hace caer un objeto que soltamos, o que hace describir una parábola a un proyectil, es la que hace girar la Luna alrededor de la Tierra, o a los planetas alrededor del Sol; atreverse a pensar, en suma, en la existencia de una fuerza *universal*, por la que *todos* los objetos, *terrestres o celestes*, se atraerían entre sí.

Resulta interesante la lectura del texto de Newton (citado por Mason, 1985, p. 103) que expresa la conexión que estableció la idea de la gravitación universal entre los movimientos de objetos en la Tierra y el movimiento de objetos celestes, como la Luna: *"El que los planetas puedan ser retenidos en sus órbitas es algo que podemos comprender fácilmente si consideramos los movimientos de los proyectiles. En efecto, una piedra arrojada se ve forzada por su propio peso a abandonar la trayectoria rectilínea (...) viéndose obligada a describir una línea curva en el aire y, merced a ese camino torcido, se ve finalmente llevada al suelo. Y cuanto mayor sea la velocidad con la que se proyecta, más lejos va antes de caer a tierra. Podemos suponer, por tanto, que la velocidad se incrementa de tal modo que describa un arco de (muchas) millas antes de llegar al suelo, hasta que, finalmente, excediendo de los límites de la Tierra, pasará totalmente sin tocarla".* Ése podría ser el caso de la Luna girando alrededor de la Tierra, o el de los planetas alrededor del Sol, debido, *en todos los casos*, a la atracción gravitatoria.

Como vemos, con esta analogía entre el movimiento de un proyectil y el de la Luna o el de un planeta, Newton estableció, por primera vez, la relación entre el movimiento de los cuerpos terrestres y celestes, superando una de las más grandes barreras del avance del conocimiento científico en la historia de la ciencia.

Las aportaciones de Newton venían a culminar la primera gran revolución científica que supuso el desplazamiento del modelo geocéntrico por el heliocéntrico. Cabría, pues, preguntarse ahora:

A.20. ¿Por qué Newton tuvo menos dificultades que Galileo para que fueran aceptadas sus ideas?

Comentarios A.20. Podemos referirnos, en primer lugar, a la ausencia de la Inquisición en los países protestantes y al hecho de que el protestantismo, en ese momento, era más favorable a la ciencia que el catolicismo. Pero, sobre todo, es preciso referirse al hecho de que, pese a todas las condenas, los astrónomos habían comenzado, desde la publicación del libro de Copérnico, a utilizar regularmente el sistema heliocéntrico por la mayor validez de sus predicciones, como un "artificio de cálculo" que en realidad no pretendía desplazar a la "verdad revelada". De este modo, los conocimientos científicos empezaron a ser vistos por algunos como un sistema paralelo que no tenía por qué afectar a las creencias religiosas y sus dogmas. Ello hacía menos peligroso el trabajo de los científicos, pero reducía la capacidad de la ciencia para modificar la ideología dominante. De hecho, el pastor luterano Osiander añadió una nota preliminar a la obra de Copérnico, señalando que la nueva teoría no era necesariamente verdadera, que podía considerarse simplemente como un modelo matemático conveniente para dar cuenta de los movimientos de los cuerpos celestes (Mason, 1985). Y aunque Copérnico no compartió nunca esa idea, ya que consideraba que su sistema del mundo era real, fue utilizada como excusa por muchos astrónomos para poder utilizar sin problemas el modelo de Copérnico, más sencillo que el ptolemaico.

En cualquier caso, con la Teoría de la Gravitación Universal culmina lo que ha sido considerado el paradigma de las revoluciones científicas: por lo profundamente que afectó a los conocimientos científicos; por su repercusión en las concepciones acerca del lugar que los seres humanos ocupamos en el universo; por las dificultades que tuvo que superar (dogmas, fanatismos, persecuciones...); por realizar la integración de dos campos del conocimiento (astronomía y mecánica terrestre) que parecían inconexos... Y aún podríamos añadir: por las repercusiones que siglos después tendría la puesta en órbita de satélites artificiales, que iban a contribuir a transformar radicalmente la vida de los seres humanos. Pero de eso hablaremos más adelante. Ahora es preciso completar el estudio del establecimiento de la Ley de la Gravitación Universal, lo cual exigía pasar de las intuiciones cualitativas a las formulaciones operativas y a someter a prueba sus predicciones cuantitativas.

A.21. ¿De qué factores cabe suponer que dependa la interacción gravitatoria entre dos cuerpos?

Comentarios A.21. Los alumnos conjeturan fácilmente que la fuerza de atracción entre dos cuerpos crecerá con el valor de sus masas y disminuirá con la distancia que les separa. El profesor puede indicar que ésas son conjeturas razonables y coinciden con las realizadas por el propio Newton, quien argumentó, mediante cuidadosos razonamientos, que la fuerza gravitatoria F sería proporcional al producto de las masas de ambos cuerpos, m_1 y m_2, e inversamente proporcional *al cuadrado* de la distancia que les separa, r^2. Newton suponía así que el debilitamiento de la fuerza de atracción era debido al aumento de la superficie ($4\pi r^2$) sobre la que se distribuía

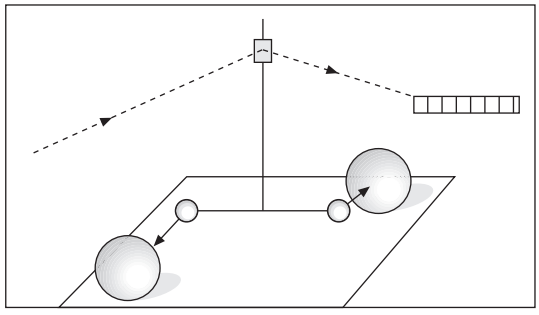
dicha atracción a la distancia r. De este modo, las hipótesis de Newton pueden expresarse con la proporcionalidad $F / (m_1m_2/r^2)$ = constante, siendo dicha constante *universal*, es decir, la misma para dos cuerpos cualesquiera. Designando a dicha constante como G (de gravitación), la expresión anterior puede escribirse así: $F = G\ m_1m_2 / r^2$.

Ésta es la hipótesis, sin duda plausible, enunciada por Newton, pero en la que también realizaron contribuciones otros investigadores, como Hooke y Halley. Una hipótesis que, naturalmente, debía someterse a prueba.

A.22. Propongan formas de contrastar las hipótesis enunciadas acerca de los factores que determinan el valor de la fuerza gravitatoria.

Comentarios A.22. Como es lógico, los estudiantes proponen estudiar cómo varía la fuerza de atracción entre dos cuerpos al variar cada uno de los factores, es decir, variando la distancia entre los mismos (manteniendo fijas las masas) y variando las masas (manteniendo fija la distancia). Es el tipo de diseño mediante "separación de variables", con el que se han familiarizado. Pero el diseño debe completarse resolviendo algunas dificultades, especificando cómo van a medirse las fuerzas, cómo hacer que sean apreciables frente a otras interacciones presentes, etc. Merece la pena detenerse en el estudio de estos diseños experimentales, que juegan un papel fundamental en la construcción de los conocimientos.

Un primer problema surge con el hecho de que la atracción de la Tierra sobre cada uno de los cuerpos va a ser mucho más intensa que la atracción entre ambos. Resulta interesante, pues, pedir a las estudiantes que conciban algún procedimiento para que se pueda apreciar la fuerza entre dos cuerpos esféricos sin que la atracción de la Tierra enmascare su mutua atracción. Surge así la idea de colocar dos esferas en los extremos de una varilla que cuelga de un hilo por su centro, con lo que queda en equilibrio y la atracción de la Tierra queda anulada; Ahora, basta acercar a cada extremo de la varilla, es decir, a cada esferita, una esfera de masa suficiente para que las atracciones sean capaces de hacer girar la varilla (ver el esquema siguiente).



Esta idea de la balanza de torsión puede ser concebida por los estudiantes, pero el profesor ha de ir señalando las muchas dificultades a superar. Por ejemplo, ¿cómo lograr que las únicas fuerzas atractivas sean las dibujadas en el esquema? (¿no se atraerán todas las esferas entre sí?). Surge así la necesidad de que la varilla sea suficientemente larga

para que la interacción entre las esferas alejadas sea despreciable. Otro problema es el de qué distancia considerar entre las esferas, resuelto, no sin dificultad, por el propio Newton, quien mostró que un cuerpo con distribución esférica de masa se comporta como si ésta estuviera concentrada en su centro.

También es preciso concebir la forma de medir esas fuerzas extraordinariamente débiles. En el dibujo anterior se esquematiza un haz de luz que se refleja en un espejo sujeto al hilo e incide en una escala graduada, que ha habido que calibrar previamente con fuerzas conocidas capaces de hacer girar la varilla. Esta actividad se convierte así en una nueva ocasión de comprender el papel de la tecnología en la actividad científica y, muy concretamente, en la concepción y realización de los diseños experimentales.

Conviene ahora señalar que un diseño semejante fue utilizado, efectivamente, para medir las fuerzas gravitatorias. Pero los experimentos los realizó el físico inglés Cavendish, a fines del siglo XVIII, con masas ligeras en los extremos de la varilla, a las que aproximaba, en la forma que indica el dibujo, dos esferas de masa muy superior. Cavendish buscaba determinar la densidad de la Tierra con sus experimentos, pero contribuyeron, posteriormente, a determinar el valor de la constante G (cuyo valor es $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N. m^2/kg^2).

La precisión que requiere un diseño como el de la balanza de torsión no era factible, obviamente, en la época de Newton. No era posible, en aquel momento, someter a prueba directamente la hipótesis de la gravitación universal. Newton tuvo que recurrir, pues, *a pruebas indirectas*. Esto es algo que ocurre muy a menudo en la ciencia. ¿Qué predicción indirecta podría realizar Newton utilizando su hipótesis de la gravitación universal como causa del giro de la Luna o de los planetas? Con otras palabras, ¿qué datos cuantitativos correspondientes a dicho movimiento debían ser obtenidos al aplicar la hipótesis?

Planteada así la cuestión si se considera conveniente, por ejemplo, para el caso de los últimos cursos del bachillerato, los alumnos pueden pensar en el período de giro de la Luna T_L, que habría de poder obtenerse sin más que tener en cuenta que la fuerza centrípeta que hace girar la Luna ($M_L v_L^2 / R_{TL}$) es precisamente la fuerza gravitatoria entre la Tierra y la Luna ($GM_L M_T / R_{TL}^2$). Es decir:

$$GM_L M_T / R_{TL}^2 = M_L v_L^2 / R_{TL}$$

Y teniendo en cuenta que la velocidad de giro de la Luna, v_L, puede expresarse en función del período, T_L ($v_L = 2\pi R_{TL} / T_L$), obtenemos, tras simplificar y agrupar:

$$GM_T = 4\pi^2 R_{TL}^3 / T_L^2$$

Conocido el radio de giro de la Luna era posible así obtener el período de la Luna, siempre que se conociera el producto $G M_T$. Pero, naturalmente, ni la masa de la Tierra ni el valor de G eran conocidos. Entonces, ¿a qué otros datos podía recurrir Newton para obtener ese producto?

Podemos aplicar la hipótesis de la gravitación universal a un cuerpo sobre la superficie terrestre, con lo que se tendría $mg = GmM_T/R_T^2$ y, por tanto, $GM_T = g R_T^2$, datos estos perfectamente conocidos. Los estudiantes pueden utilizar ahora los valores de g, el radio de la Tierra y la distancia Tierra-Luna para calcular el período de la Luna, obteniendo un valor muy próximo al real. Conviene hacer notar que, al mismo tiempo que se comenzaba a verificar la hipótesis de Newton, se daba explicación al hecho de que la aceleración de caída g fuera la misma para todos los cuerpos.

Newton también aplicó su hipótesis al estudio de la relación entre el período T y el radio r de la órbita de los planetas, deduciendo así una de las leyes que Kepler había

obtenido por laborioso ensayo y error. Los estudiantes pueden obtener fácilmente, para el caso de órbitas circulares, la expresión $T^2 / r^3 = cte.$, siendo dicha constante la misma para todos los planetas del sistema solar, $4\pi^2 / GM_S$, puesto que sólo depende de la masa del Sol.

La hipótesis de Newton fue afianzándose así hasta ser aceptada como Ley de la Gravitación Universal, culminando uno de los edificios teóricos más extraordinarios construidos por la ciencia.

Naturalmente, el establecimiento de la Ley de la Gravitación Universal no puso punto final, ni mucho menos, a la investigación en este campo. Los nuevos conocimientos generaron nuevas preguntas e impulsaron numerosos desarrollos que han llegado hasta nuestros días. Nos asomaremos, a continuación, a algunos de ellos.

5. ALGUNAS CONSECUENCIAS E IMPLICACIONES DE LA LEY DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Una primera cuestión relacionada con el establecimiento de la Ley de Gravitación Universal es la explicación de cómo tiene lugar la interacción gravitatoria.

A.23. ¿Cómo podemos explicar la interacción de dos cuerpos separados una cierta distancia?

Comentarios A.23. La idea newtoniana de acción a distancia entre los cuerpos presenta una serie de dificultades que no pasaron desapercibidas para el propio Newton. De hecho, antes de Newton se pensaba que todas las fuerzas se producían por contacto, por eso cuando él introdujo las fuerzas gravitatorias a distancia se produjeron grandes controversias. Algunos afirmaban que dichas fuerzas eran un retorno a cualidades "ocultas" desterradas de la física por Galileo. Puede ser conveniente, a este respecto, leer las propias palabras de Newton en una carta a Bentley en la que decía: *"Es inconcebible que la materia bruta inanimada, sin la mediación de algo más que no sea material, influya y afecte a otra materia sin contacto mutuo... Una gravedad... tal que cualquier cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia, a través del vacío, sin la mediación de algo más, a través de lo cual pueda conducirse la acción y la fuerza, es para mí un absurdo tan grande que no creo exista un hombre que con facultad de pensamiento sobre materias filosóficas pueda creer en ello. La gravedad debe estar causada por un agente que actúa constantemente según ciertas leyes"* (citado por Holton y Roller, 1963).

Esta conjetura de la existencia del algún "agente" material a través del cual tiene lugar la interacción es también propuesta por algunos alumnos cuando se plantean cómo puede tener lugar la interacción de cuerpos distantes entre sí. Posteriormente, los científicos se plantearon la misma pregunta al estudiar otras fuerzas "a distancia", como las electromagnéticas. Para contestarla, Faraday y otros científicos, en el siglo XIX, introdujeron la idea de campo y hoy hablamos de campo gravitatorio y campo electromagnético como formas de existencia de la materia, a través de las cuales se propagan las interacciones. Sabemos, además, que el campo electromagnético está constituido por fotones y que posee propiedades físicas, como energía y cantidad de movimiento.

El campo gravitatorio es, por ahora, mucho menos conocido y aunque se sigan realizando experimentos para mostrar la existencia de "gravitones", los resultados hasta el momento han sido negativos.

Estas limitaciones en el conocimiento del campo gravitatorio no deben esconderse a los estudiantes. Se evita así la visión deformada de ciencia acabada, en la que todos los problemas han sido resueltos. Por el contrario, conviene resaltar los desafíos que siguen reclamando el estudio y transmitir como algo positivo la idea de que una investigación fructífera genera más problemas que los que resuelve.

Pese a estas "dificultades" en la comprensión de la naturaleza de la gravitación, otros aspectos de la nueva teoría experimentaron un pujante desarrollo, al que merece la pena asomar a los estudiantes. Previamente, sin embargo, conviene plantear a los alumnos por qué, pese a tratarse de la forma de interacción más débil (la electromagnética tiene una intensidad 10^{38} veces mayor que la gravitatoria), a escala astronómica constituye la interacción dominante.

A.24. ¿Por qué a escalas astronómicas la interacción dominante es la gravitatoria?

Comentarios A.24. Basta con hacer notar que aunque las interacciones electromagnéticas tienen una intensidad muy superior a las gravitatorias, hay dos clases de carga eléctrica en la naturaleza que globalmente se equilibran, por lo que no hay objetos celestes con carga neta capaces de interaccionar electromagnéticamente. En cuanto a las interacciones nucleares, no cuentan a escala macroscópica porque son de muy corto alcance. Las interacciones gravitatorias resultan, pues, pese a su mucha menor intensidad, de una enorme importancia a escala microscópica, cuyo estudio se vio facilitado por el establecimiento de la Teoría de la Gravitación Universal.

Antes de iniciar la siguiente actividad queremos señalar que, si se considera adecuado, por el nivel en el que se imparte el programa de actividades, puede abordarse con una mayor profundidad el estudio del campo gravitatorio, tomando en consideración sus características, así como el valor de la intensidad de campo en cada punto del mismo, su visualización y, muy en particular, el tratamiento de los aspectos energéticos en la interacción gravitatoria. Esto es lo que habitualmente encontramos en los libros de texto del nivel de secundaria superior, y por eso preferimos desarrollar aquí aspectos frecuentemente ausentes pero absolutamente necesarios para cualquier nivel educativo.

A.25. Conjeturen qué avances científicos y tecnológicos pueden haberse derivado del establecimiento de la Ley de la Gravitación Universal.

Comentarios A.25. Unas de las primeras aplicaciones de la ley de la Gravitación Universal, que fueron desarrolladas en su mayor parte por el propio Newton, se refieren a la explicación de fenómenos hasta entonces inexplicables, como las mareas oceánicas. Pero debe dejarse claro que la explicación de este fenómeno no puede hacerse de manera completa sobre la base de esta ley, pues intervienen muchos otros factores que hicieron fracasar los intentos de Newton de dar una explicación cuantitativa a este fenómeno. En el caso de la atracción del Sol, aunque es muy superior a la que ejerce la Luna, no hay diferencias tan significativas entre los distintos puntos de la Tierra, dada la enorme distancia Tierra-Sol, por lo que influye menos, pero todavía de forma apreciable en la intensidad con que se producen las mareas.

(Precisamente cuando la Luna está alineada con el Sol y la Tierra se producen las mareas vivas, mientras que si la Luna se encuentra en cuadratura con el Sol tienen lugar las mareas muertas).

La Ley de Gravitación también permitió explicar el comportamiento de los cometas. Éstos habían sido un misterio desde la antigüedad, habiendo asociado su presencia a funestos presagios. La teoría gravitatoria de Newton permitió explicar su comportamiento: si los cometas aparecen periódicamente, su trayectoria será una elipse, sólo que muy excéntrica. El más famoso de ellos es el cometa que Edmund Halley estudió cuando apareció en 1682 y para el que predijo un período de aproximadamente 75 años. Su vuelta en 1756 y tres veces más desde entonces, tras recorrer una amplia elipse que se extiende más allá del último planeta, fue interpretada como un importante triunfo de la mecánica newtoniana.

Otra consecuencia notable de la Teoría de la Gravitación Universal fue la predicción de la existencia de nuevos planetas en el sistema solar, debido a las perturbaciones observadas en las órbitas de los planetas ya conocidos. Así, las irregularidades en la órbita de Urano, descubierto en 1781 por Herschel, fueron interpretadas como debidas a la existencia de algún otro planeta y condujeron, efectivamente, al descubrimiento de Neptuno en 1846 por Leverrier y Adams. Del mismo modo, por las perturbaciones que producía en este último, fue descubierto Plutón en 1930 por Tombaugh.

Podríamos seguir refiriéndonos a fenómenos como la existencia de galaxias, estrellas binarias, etc., cuyo conocimiento, que nos ha asomado a una mejor comprensión de la estructura del universo, es en buena medida deudor de la Teoría de la Gravitación Universal. Ésta es una posibilidad abierta a la decisión de cada equipo docente, en función de sus circunstancias concretas (y muy en particular del tiempo disponible), y nos ocuparemos, para terminar, de los satélites y naves espaciales, a los que los estudiantes se refieren, acertadamente, como uno de los campos de aplicación de mayor interés de la gravitación.

Para terminar, nos referiremos ahora a la aplicación de la gravitación universal en un campo que ha sufrido un enorme desarrollo en las últimas décadas: los satélites artificiales.

A.26. La posibilidad de poner un objeto en órbita alrededor de la Tierra fue ya concebida por Newton, al menos implícitamente, al considerar que la parábola descrita por un objeto lanzado desde una torre con velocidad creciente va abriéndose y haciendo caer el objeto cada vez más lejos, de forma que si le damos suficiente velocidad puede llegar a no caer al suelo, cerrándose una trayectoria elíptica. Sin embargo, fue tan sólo en 1957 cuando la antigua Unión Soviética puso en órbita el primer satélite artificial. ¿A qué pudo ser debido este retraso?

Comentarios A.26. La discusión de esta actividad permite de nuevo referirse a la complejidad del desarrollo tecnológico. La idea simple de lanzar un objeto con suficiente velocidad no puede llevarse a la práctica sin contar con el combustible necesario para acelerar el objeto el tiempo suficiente para alcanzar dicha velocidad o sin la existencia de materiales capaces de resistir las elevadas temperaturas que se producen al atravesar la atmósfera a gran velocidad, etc. Algunos graves accidentes sufridos por los vehículos espaciales son buena prueba de esas dificultades.

A.27. ¿Qué aplicaciones conciben para los satélites artificiales?

Comentarios A.27. Como en tantas otras ocasiones, la primera motivación para el lanzamiento de satélites artificiales fue, desgraciadamente, la militar (espionaje, colocación de armas en órbita dispuestas para el lanzamiento de proyectiles en cualquier momento...), y ésta sigue siendo una de las principales "aplicaciones" previstas en la llamada "guerra de las galaxias" con la que, entre otras cosas, el Gobierno de Estados Unidos pretende dotarse de un "escudo inexpugnable" capaz de destruir cualquier misil enemigo. No podemos ocultar esta triste realidad que ha absorbido recursos impresionantes en una demencial carrera armamentista y que impide hoy en día atender las necesidades de miles de millones de seres humanos que viven en la miseria.

Pero no podemos olvidar tampoco que hoy en día gran parte del intercambio y difusión de la información que circula por el planeta, casi en tiempo real, tiene lugar con el concurso de satélites (como el *Echo*, encargado de reflejar ondas de radio), incluido el funcionamiento de Internet, o de la nueva telefonía móvil. Y lo mismo se puede señalar del comercio internacional, del control de las condiciones meteorológicas (con ayuda del *Meteosat*), de la detección de bancos de pesca, el seguimiento de la evolución de los ecosistemas amenazados (incendios, debilitamiento de la capa de ozono, procesos de desertización, extinción de especies...), la instalación de telescopios capaces de observar el firmamento sin la limitación de la atmósfera terrestre, las denominadas sondas como las *Pionner, Voyager*, etc., cuyos espectrómetros ultravioletas envían datos sobre las galaxias, enanas, blancas, etc. Son pocas las actividades humanas que no se ven hoy facilitadas por la combinación de ordenadores, telefonía y satélites artificiales.

Puede ser interesante referirse a que la vida de un satélite está limitada a unos cuantos años, ya que para mantener su órbita necesita utilizar sus cohetes propulsores de gas cada cierto tiempo, lo que supone que se va gastando su combustible en un cierto número de años, en función de su tamaño y la altura de la órbita, puesto que si ésta aumenta el roce con la atmósfera disminuye. Todo ello supone el abandono en el espacio de numerosos objetos denominados chatarra espacial, lo que está creando un problema al que dedicaremos la siguiente actividad.

El impresionante desarrollo de los satélites artificiales ha generado un problema de "chatarra espacial" al que es preciso prestar atención.

A.28. ¿Qué consecuencias tiene la existencia de la chatarra espacial?¿Qué tipo de medidas se deberían adoptar para resolver el problema?

Comentarios A.28. En general, las personas no solemos preocuparnos por la contaminación del espacio orbital, pese a que ya en la década de los ochenta la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, en su documento "Nuestro mundo común", alertaba de que los residuos que continúan en órbita constituyen una amenaza creciente para las actividades humanas realizadas en el espacio o desde el espacio. La contribución de los satélites a hacer del planeta una aldea global es fundamental, pero, como ha enfatizado la Agencia Espacial Europea, si no se reducen los desechos en órbita, dentro de algunos años no se podrá colocar nada en el espacio.

El satélite francés *CERISE*, que costó miles de millones, fue destruido por uno de esos escombros. De hecho, este peligro ha encarecido ya enormemente el coste de

los blindajes con los que hay que proteger a los nuevos satélites, cada vez más necesarios. Se podría pensar que "el espacio es muy grande" y que los riesgos de colisiones son, pues, pequeños. Pero no hay que olvidar que hay una órbita "preferida" para los satélites de comunicaciones, la denominada *autopista geoestacionaria,* que presenta muchas ventajas porque en ella los artefactos giran a la misma velocidad angular que la Tierra y quedan aparentemente fijos en el cielo respecto a la superficie del planeta. El número de satélites colocados allí se acerca a la saturación, y las posibilidades de colisiones en esa zona son enormes.

Una de las mayores fuentes de esta chatarra, según la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD), ha sido la actividad militar, con el ensayo de armas espaciales. Y ello se vería gravemente incrementado si se llevan adelante los planes de "guerra de las galaxias" que prevén la colocación de grandes cantidades de armas y de detectores de armas en los satélites, así como ensayos de destrucción de misiles en el espacio. Por eso, la medida más importante para reducir los residuos espaciales, afirma la misma CMMAD, consiste en evitar que continúen los ensayos y el despliegue de armas espaciales que se utilizarán contra objetos colocados en el espacio. Se trata de medidas necesarias para evitar dejar en órbita esa herencia a las próximas generaciones, lo que resulta, según los expertos de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos de la ONU, una negligencia tan grave como acumular residuos radiactivos cuya actividad puede durar cientos o miles de años, envenenar los océanos, salinizar las aguas subterráneas o destruir los bosques del planeta (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

Algunos técnicos señalan la posibilidad de reducir las consecuencias de los impactos reforzando las cubiertas exteriores o limitando las posibilidades de colisión modificando la orientación de los aparatos. Pero también señalan que no hay forma de escudar adecuadamente a los más de 100.000 objetos en órbita (frente a más de dos millones de kg de chatarra en un radio de 2.000 km alrededor de la Tierra) o de controlarlos desde la Tierra. Y medidas como limpiar de basura espacial ese espacio que rodea nuestro planeta parecen inviables por el momento. Por eso se apunta que la mejor solución es controlar el número de objetos, limitar el vertido de residuos en órbita, preparar los artefactos para que no produzcan problemas cuando dejen de funcionar: retirándolos de las órbitas útiles, evitando que se deshagan en piezas peligrosas, etc.

Para terminar esta consideración de la revolución científica y tecnológica que supuso el desplazamiento del sistema geocéntrico por el heliocéntrico y el establecimiento de la Teoría de la Gravitación Universal, propondremos a continuación algunas actividades de síntesis del estudio realizado en esta unidad.

RECAPITULACIÓN

A modo de revisión y recapitulación realizaremos las siguientes actividades:

A.29. En los medios de comunicación suelen aparecer expresiones como: "Un astronauta en un satélite en órbita terrestre se encuentra en estado de ingravidez". Comenten dicha afirmación.

Comentarios A.29. Muchos alumnos han visto en la TV, cine, etc., que los astronautas parecen "flotar". Por ello piensan que se han liberado de la atracción terrestre, lo

que no tiene sentido porque la gravedad apenas se ha debilitado a la distancia a la que se suelen encontrar las naves espaciales en órbita alrededor de la Tierra (escasos centenares de kilómetros). Si la gravedad se hubiera debilitado realmente, ni los astronautas ni las naves girarían en torno a la Tierra. En realidad, como ya hemos visto, el movimiento orbital es una caída libre. Si una persona que fuera en un ascensor en caída libre soltara un lápiz, éste no caería al suelo. Para un observador inercial exterior, el lápiz cae con aceleración g. Pero también lo hace el suelo del ascensor, con lo que el lápiz se quedaría flotando respecto al mismo. De forma idéntica ocurre en el interior de un satélite artificial.

A.30. Indiquen las aportaciones de interés que haya supuesto para ustedes el estudio del tema.

A.31. ¿Qué campos del conocimiento quedan integrados a partir del modelo heliocéntrico y su desarrollo?

A.32. ¿Qué relación existe entre la evolución de los conocimientos abordados en este tema y las transformaciones de la propia sociedad?

A.33. Visiten un planetario con el fin de realizar un trabajo posterior sobre sus aportaciones para la comprensión de los conceptos abordados en el tema.

A.34. Realicen un seguimiento de las noticias aparecidas en la prensa durante varias semanas relacionadas con la gravitación, viajes espaciales, origen del universo, etc., confeccionando un mural con las mismas para la clase y realizando un debate posterior acerca de sus repercusiones en la vida actual.

Comentarios A.30 a A.34. A lo largo del tema ya se han ido realizando pausas de reflexión, a la vez que se ha resaltado el carácter revolucionario del paso del geocentrismo al heliocentrismo, permitiendo comprender el modo de crecimiento de la ciencia, evitando visiones de crecimiento lineal, a la vez que se analizan esos momentos culminantes en la historia del pensamiento que supusieron la remodelación del cuerpo de conocimientos tras el cuestionamiento de tesis aceptadas durante milenios.

Pero queremos señalar que el final del tema constituye una ocasión privilegiada para abordar aspectos fundamentales de la actividad científica, como lo referido a la recapitulación y las perspectivas abiertas con los desarrollos abordados. Por esta razón, se propone ahora un grupo de actividades que permiten recapitular todo lo estudiado en el tema, revisando y sintetizando lo que supuso esa gran revolución científica, el hundimiento de la barrera que separaba el cielo de la tierra, el surgimiento de un nuevo paradigma y la integración, por primera vez en la historia de la humanidad, de dominios aparentemente inconexos.

Una ocasión, también, para tratar de nuevo las relaciones CTSA, que han sido contempladas desde el inicio del tema pero que, tras avanzar en el estudio de la problemática abordada, es necesario analizar con mayor profundidad, conectando los aspectos tratados con los desarrollos tecnológicos y la sociedad y el medio en que se desarrollan (Solbes, 2002). Así, ya nos referimos a lo que supuso la búsqueda de

una mejora en las predicciones astronómicas, fundamental para los largos viajes alejándose de las costas que tuvieron lugar en el siglo XV y que influyeron en el impulso que recibieron en esos años las investigaciones en el campo de la astronomía. También abordamos las barreras ideológicas a aceptar el movimiento de la Tierra, lo que constituye un magnifico ejemplo del papel subversivo del desarrollo científico, de cuestionamiento de dogmas y barreras a la libertad de pensamiento. Y es posible referirse a la contribución de todos estos desarrollos en acciones transformadoras en la Tierra, facilitando los grandes descubrimientos y con ellos la primera gran globalización y los cambios sociales y del medio físico que provocó en todo el planeta.

Y si extendemos la consideración de estas implicaciones hasta nuestros días, nos encontramos con consecuencias aún mayores, como, por ejemplo, las posibilitadas por los satélites artificiales que han modificado en profundidad la vida en la Tierra, haciendo posible la transmisión casi instantánea de información y de transacciones de todo tipo, así como la predicción de fenómenos atmosféricos, el estudio de la evolución de los ecosistemas, la detección de incendios, etc., sin olvidar las repercusiones negativas que todo esto puede conllevar y que se relacionan con la contemplación de las perspectivas abiertas y la toma de decisiones al respecto.

Se trata, en definitiva, de aspectos fundamentales de la educación científica, a cuya comprensión puede contribuir la realización de la visita a un planetario, que permiten relacionar la gravitación con la revolución científico-técnica del siglo XX y profundizar en el conocimiento de la evolución de las ideas científicas, porque ayudan a mostrar una imagen de la ciencia en conexión con el mundo que nos rodea, con los avances científicos, con temas de actualidad, a ir aproximándonos al conocimiento de nuestros orígenes y, en definitiva, a contestar muchas de las preguntas que los seres humanos teníamos planteadas desde hace mucho tiempo, de una forma abierta, desprovista de mitos y supersticiones.

Es frecuente encontrar en la prensa noticias relativas a estos conocimientos científicos y sus repercusiones; en algunos casos, se les dedica una sección, por lo que no será difícil recopilar en pocos días numerosa información a este respecto. Es una ocasión para comprender el papel relevante que puede jugar la prensa en la educación científica y también para ir abordando cuestiones de actualidad que no caben en un tema como éste, pero que pueden discutirse en situaciones más informales, tales como las relacionadas con la posible existencia de vida en otros lugares del universo, los ovnis, etc.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado originalmente para este libro

Referencias bibliográficas en este capítulo

BYBEE, R. (2000). Achieving Technological Literacy: A National Imperative. *The Technology Teacher*, September 2000, 23-28.

GIL- PÉREZ, D. (1981). Evolución de la idea de materia. (Un hilo conductor para el estudio de la física). Valencia: ICE Universitat de València.

HOLTON, G. y BRUSH, S. (1996). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.

HOLTON, G. y ROLLER, D. (1963). *Fundamentos de la Física Moderna.* Barcelona: Reverté.

HOLTON, G., RUTHERFORD, F. J. y WATSON, F. G. (1982). *Project Physics.* New York: Holt-Rinehart-Winston.

MASON, S. F. (1985). *Historia de las ciencias*, Vol. 5 Madrid: Alianza.

SAGAN, C. (1982). *Cosmos*. Barcelona: Planeta.

SÁNCHEZ RON, J. M. (1999). *Como al león por sus garras*. Madrid: Debate.

SOLBES, J. (2002). *Les empremtes de la Ciència. Ciència, Tecnologia, Societat: Unes relacions controvertides.* Valencia: Germania.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia.* Madrid: Cambridge University Press.

Capítulo 13

¿Cómo explicar la gran diversidad de materiales y sus transformaciones?

Una primera aproximación a la estructura de la materia

Jaime Carrascosa y Carles Furió

Comentario preliminar. Un tema fundamental en cualquier currículo de ciencias es el de los materiales y su estructura. Hay que reconocer que el prodigioso desarrollo experimentado por la química en apenas tres siglos ha sido fruto, en buena medida, del conocimiento de la estructura de la materia**.**

Entre los objetivos fundamentales de este tema está aproximar a los estudiantes a la enorme diversidad de materiales que nos rodean y tratar de explicar, mediante un modelo unitario, sus propiedades y los cambios físicos o químicos que experimentan. Para llegar a un modelo común se tuvieron que dar históricamente, entre otros, dos pasos fundamentales:

- Superar la separación entre la materia condensada (sólidos y líquidos) y los gases, al constatar que tenían propiedades comunes. El estudio de los gases y la comprobación de que su comportamiento no dependía del tipo de gas, permitió llegar al establecimiento de un modelo microscópico corpuscular que posteriormente se extrapoló a sólidos y líquidos**.**
- Llegar a concebir los materiales ordinarios (mezclas) constituidos por sustancias (definidas macroscópicamente como cuerpos con determinadas propiedades características e invariables) que podían descomponerse o no en otras más sencillas (sustancias compuestas o simples). Ello permitió profundizar el modelo corpuscular gaseoso que se transformó en el modelo atómico-molecular de la materia.

Este capítulo se centrará en el estudio del primero de los dos pasos indicados, o sea tratará de mostrar cómo el estudio de los gases contribuyó de manera determinante al conocimiento actual de la estructura de la materia. Es probable que en algunos países los alumnos estudien nociones sobre el tema antes de llegar al bachillerato. En tal caso, algunas de las actividades que se proponen a continuación pudieran parecer demasiado sencillas. Sin embargo, nuestra experiencia es que siguen siendo útiles para diagnosticar y conectar con lo que ya conocen los estudiantes, para profundizar en el tema, etc.

INTRODUCCIÓN

En los capítulos precedentes hemos venido estudiado el comportamiento de la materia atendiendo a propiedades generales que son aplicables a todos los objetos físicos, independientemente de cualquier característica específica de los mismos: las leyes de la dinámica o la atracción gravitatoria, por ejemplo, se aplican por igual a materiales de cualquier naturaleza.

Nuestro interés ahora va dirigido a explicar las propiedades específicas que diferencian la enorme diversidad de materiales que nos rodean, así como las transformaciones que los mismos experimentan.

El hecho de que unos materiales se transformen, en determinadas condiciones, en otros de distintas propiedades, hace concebir la posibilidad de un modelo unitario de estructura de la materia que explique tanto la gran diversidad de materiales como los cambios que experimentan.

Esta conjetura se ha mostrado fecunda y el conocimiento de la estructura de la materia ha hecho posible un prodigioso desarrollo de la química moderna.

A.1. ¿Por qué puede tener interés conocer la naturaleza de los materiales que nos rodean, así como sus propiedades?

Comentarios A.1. La pretensión de aprovechar los materiales que la naturaleza pone a nuestro alcance es algo que se relaciona con la propia historia de la humanidad. La leña que arde, el crecimiento de las plantas, las cosas que comemos... tienen mucho que ver con el conocimiento de sus propiedades y capacidad de transformación, que acabó dando lugar a la química como nuevo campo de conocimiento. Los comentarios de los alumnos permiten dejar claro que en apenas tres siglos la química, como disciplina científica, ha contribuido a modificar radicalmente nuestra forma de alimentarnos, de vestirnos**,** de protegernos contra las enfermedades, de construir nuestras ciudades..., pero no podemos olvidar, y así suele ser constatado en los comentarios de los estudiantes, que también ha contribuido a una creciente contaminación, a preparar armas de destrucción masiva, etc. Ello da lugar a retomar el interesante debate acerca de la responsabilidad de los científicos y de los ciudadanos o la importancia de aplicar sistemáticamente el "principio de prudencia".

Comenzaremos, pues, en este capítulo, el estudio de la estructura de la materia, cuya influencia en el desarrollo de la química y en nuestras formas de vida ha sido tan determinante. Iniciaremos dicho estudio centrándonos en el comportamiento de los gases, dejando para más adelante el análisis de los materiales en los estados sólido o líquido. No se trata,

como veremos**,** de una cuestión trivial, aunque puede chocar que comencemos ocupándonos de algo cuya materialidad es menos evidente, menos clara, que la de materiales que podemos ver y tocar con más facilidad. Existen, sin embargo, poderosas razones para estudiar, en primer lugar, los gases. De hecho, la contribución de su estudio al establecimiento de la estructura de la materia fue, históricamente, muy notable.

A.2. ¿Por qué puede ser útil comenzar el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento de los gases?

Comentarios A.2. Con esta cuestión se pretende que los alumnos lleguen a intuir el interés de ocuparse de los gases debido a que su comportamiento físico es más simple, menos variado que el de los sólidos o líquidos, hasta el punto de que resulta difícil reconocer diferencias entre gases distintos. Ello puede ser una buena ocasión para referirse a cómo los científicos comienzan planteándose situaciones elementales -incluso artificialmente simplificadas- que les resulten asequibles y les permitan "despegar" en el conocimiento. De hecho, cuando la atención de los estudiosos se dirigió hacia la posible explicación del comportamiento de los gases, los avances en la comprensión de la estructura de la materia fueron muy notables, e igual cabe esperar que ocurra en el caso de los alumnos.

Una vez justificada la opción de iniciar el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento físico de los gases, conviene establecer un plan de trabajo para esta aproximación inicial.

A.3. Propongan un plan de trabajo para el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento de los gases.

Comentarios A.3. A partir de las propuestas de los estudiantes se puede establecer el siguiente programa de trabajo, que se convierte en el índice del tema:

1. Profundización en el estudio del comportamiento físico de los gases, cuyas propiedades han de ser explicadas.
2. Construcción, a título de hipótesis, de un modelo que explique cualitativamente el comportamiento de los gases y sea capaz de *predecir hechos contrastables cuantitativamente*.
3. Consideración de la posibilidad de extrapolación del modelo construido a toda la materia (explicando también el comportamiento de líquidos y sólidos).
4. Consideración de los problemas que quedan planteados tras el estudio realizado (y que convendrá abordar en los temas siguientes).

Es preciso insistir en que la implicación de los estudiantes en esta tarea es fundamental para que adquieran una idea preliminar del hilo conductor del desarrollo de la unidad.

Pasaremos ahora a desarrollar este hilo conductor.

1. PROFUNDIZACIÓN EN EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO DE LOS GASES

Conviene revisar, en primer lugar, las ideas que ya tenemos respecto al comportamiento de los gases -fruto, fundamentalmente, de nuestra experiencia cotidiana en relación con el aire- que puedan servirnos de guía para un estudio más detenido.

A.4. Resuman las ideas y dudas que tengan acerca del comportamiento de los gases, como punto de partida para un estudio detenido de sus propiedades.

Comentarios A.4. Los alumnos disponen ya de ciertos conocimientos, fruto de sus experiencias cotidianas y de estudios anteriores, que les permiten referirse a la facilidad con que los gases se comprimen y expanden, al efecto que tienen sobre su volumen la temperatura y la presión, a la facilidad con que se mezclan, etc. Por otra parte, al subrayar la conveniencia de que expresen también sus dudas se favorece que afloren sus preconcepciones sobre el tema (muchas de ellas bien estudiadas en la literatura, como la idea de que los gases no pesan, no son materiales como los sólidos, etc.). Las ideas expuestas adquieren así el estatus de hipótesis de trabajo en las que convendrá profundizar.

A continuación profundizaremos en las ideas expuestas, sometiendo a prueba las conjeturas enunciadas y clarificando las dudas manifestadas. En primer lugar, nos plantearemos qué hechos o experiencias permiten considerar a los gases tan materiales como los sólidos y líquidos, para después entrar a matizar el resto de las propiedades que les hemos atribuido.

1.1 ¿Ocupan volumen los gases?

A.5. Propongan algún experimento que permita mostrar que los gases ocupan volumen. A título de ejemplo: ¿cómo hacer ver que una botella o un vaso que nos parecen "vacíos", en realidad están llenos de aire?

Comentarios A.5. El que los gases, en general (y muy en particular el aire que nos envuelve), no se vean ni se puedan "tocar", hace que pasen inadvertidos para los alumnos, a menos que se encuentren en movimiento. Así por ejemplo, cuando se les pregunta cómo saben que hay aire a nuestro derredor contestan refiriéndose a los efectos que produce el viento o dando, incluso, argumentos más sofisticados, como, por ejemplo, que las nubes viajeras requieren para su flotación un medio (el propio aire) más ligero y extenso que ellas (Séré, 1986). En relación a las respuestas dadas a esta actividad, se proponen experiencias elementales que demuestran que el aire, o cualquier otro gas, ocupa el volumen del recipiente en el que se halla. Ejemplos de experiencias que se pueden proponer y realizar son l**o**s siguientes:

A) Hundir un vaso boca abajo en un recipiente con agua, como indica la **figura 1** y ver que el agua no llena el vaso. Esta observación, fácilmente realizable (por ejemplo, en la pila de la cocina), permite también mostrar la salida del aire con tan sólo girar lentamente el vaso hacia arriba. La experiencia puede hacerse más "vistosa" con ayuda de un pequeño corcho puesto dentro del vaso, antes de introducirlo en el agua. Una variante consiste en poner pegado al fondo del vaso pequeño un papel y comprobar que por mucho que se hunda no se moja.

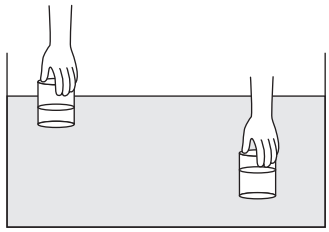


Figura 1. ¡En el vaso "vacío" hay algo!

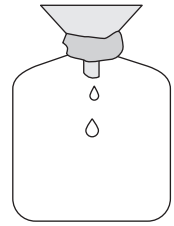


Figura 2. ¡El líquido del embudo no cae!

B) Otra pequeña experiencia que se puede realizar con una botella consiste en acoplarle un embudo (**figura 2**), de manera que el cierre sea hermético (poniendo plastilina, cera, arcilla...), y a continuación añadir agua al embudo. A la pregunta ¿qué podría hacerse para que el agua cayera al fondo de la botella?, se responde con referencias a permitir la salida del aire encerrado, levantando el embudo o, simplemente, pinchando la plastilina o la cera pegada entre el cuello de la botella y el embudo.

C) Otra experiencia consiste en tratar de hundir a presión el émbolo de una jeringa de plástico que ha sido cerrada a la llama, o simplemente con un dedo.

Así pues, los gases ocupan volumen como los sólidos y líquidos, si bien se parecen más a estos últimos en cuanto a la facilidad que tienen para fluir, de ahí que se les denomine conjuntamente *fluidos.* Relacionada con esta tendencia a fluir, a escaparse, los gases ocupan todo el volumen disponible del recinto que los contiene, y ello complica tanto su recogida como la medida de volúmenes determinados de aquéllos.

A.6. Una cualidad importante en los atletas es su capacidad pulmonar (volumen máximo de aire que puede introducir o expulsar una persona de sus pulmones en cada inspiración o espiración). ¿Cómo se puede recoger y medir este volumen de aire?

Comentarios A.6. La recogida y medida del volumen de cualquier gas o del aire espirado se puede hacer sobre un líquido en el que previamente se sabe que no se disuelve. El montaje solicitado puede consistir, por ejemplo, en un tubo acodado introducido en una probeta calibrada e invertida que está llena de agua. Al soplar por dicho tubo se desplaza el agua y se puede medir esta capacidad torácica (**figura 3**). Con relación a esta cuestión de la recogida de gases, puede introducirse una actividad de relación ciencia-tecnología-sociedad-ambiente, cuyo objetivo sea buscar información sobre las formas de almacenar y distribuir el gas utilizado como combustible doméstico en las grandes urbes, las repercusiones de su utilización, teniendo en cuenta los problemas de contaminación asociados, así como el que se trata de un recurso no renovable. En esta información se podrá observar que una de estas formas ha consistido, en las llamadas "fábricas de gas", en almacenar el gas a baja presión sobre agua en enormes tanques cilíndricos. En la actualidad, en muchos lugares el gas que se utiliza en las casas se transporta directamente en gasoductos procedentes de los yacimientos de gas natural.

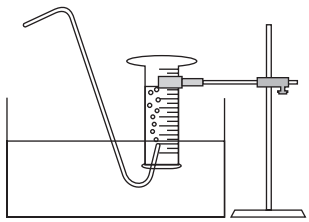


Figura 3. Cómo recoger gases y medir su volumen

Pasemos a analizar si también los gases tienen masa y, por tanto, pesan.

1.2. ¿Pesan los gases?

Para confirmar el carácter material de los gases es conveniente mostrar que, además de ocupar volumen, pesan, lo que las experiencias cotidianas parecen contradecir.

A.7. Ideen algún experimento que muestre que los gases no sólo ocupan un espacio, sino que además tienen masa y, en consecuencia, pesan.

Comentarios A.7. La transparencia unida a la baja densidad habitual de la materia en estado gaseoso son cualidades que hacen pensar al alumnado que los gases no tienen masa como los sólidos y líquidos. Además, cuando creen verlos (por ejemplo, en el caso del humo) ascienden, lo que parece confirmarles que los gases no pesan. (En realidad, como sabemos, el humo se ve porque es una suspensión de ceniza, en forma de polvo muy fino, que asciende debido a corrientes convectivas de aire caliente). La baja densidad de los gases es la que dificulta la operación de pesarlos y de ahí que normalmente sea más cómodo utilizar el volumen cuando se quiere medir una cantidad de gas determinada. No obstante, los alumnos y alumnas proponen ensayos semicuantitativos que permiten mostrar que los gases pesan. Para ello sugieren introducir mayor masa de aire en un volumen dado de la que hay habitualmente. Proponen, por ejemplo, que se puede tomar un balón de baloncesto o una cámara de bicicleta, o mejor de automóvil, vacía y previamente pesada, llenarla de aire y comprobar después su peso. También pueden idear diseños alternativos, como, por ejemplo, meter una de las válvulas que hay en estos neumáticos en un tapón de goma que ajuste muy fuertemente a un frasco y, a continuación, introducir aire con el bombín, teniendo buen cuidado de que no salte el tapón (**figura 4**). Otro diseño podría basarse, por el contrario, en la extracción del aire de un frasco poniendo la misma válvula de neumático invertida o con ayuda de una jeringa hipodérmica de 50 o 100 ml de capacidad.

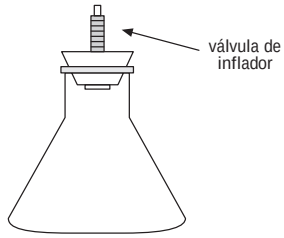


Figura 4. Experimento para contrastar si el aire pesa o no.

Algunos libros citan que puede realizarse una experiencia muy vistosa colgando dos globos hinchados de los extremos de una ligera varilla sujeta de su centro por un hilo, de forma que quede equilibrada. Basta entonces pinchar uno de los globos para constatar que dicha "balanza" se desequilibra notoriamente, debido al mayor peso del globo hinchado. No obstante, esta experiencia es menos clara, puesto que hay que tomar en consideración el empuje que experimenta el globo hinchado. Todas estas experiencias pueden contribuir a hacer patente el peso de los gases. Sin embargo, como la idea de que no pesan es bastante persistente (Furió, Hernández y Harris, 1987), se puede utilizar para evaluar si ha cambiado o no este esquema conceptual, bien al final del tema o bien en este momento, una actividad en la que se les pide que comparen el peso de un frasco cerrado que tiene un poco de éter líquido con el del mismo frasco con el éter vaporizado (**figura 5**). Se trata, por supuesto, de una experiencia mental, puesto que la vaporización del éter podría resultar peligrosa.

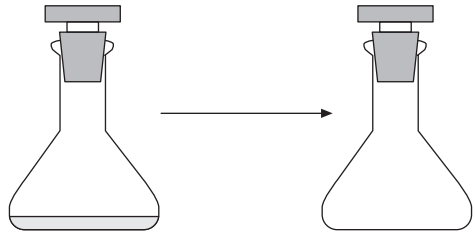


Figura 5. ¿Qué pesará más: el frasco con éter líquido o gaseoso?

Aceptado que los gases pesan podemos relacionar esta idea con el peso del aire atmosférico que nos envuelve y sugerir que, dada la enorme capa de aire que cubre la Tierra, es de esperar que su peso sea muy elevado.

A.8. Sugieran pruebas de que el aire atmosférico ejerce una gran presión sobre el fondo del "mar de aire" en el que vivimos.

Comentarios A.8. La cuestión del peso de los gases puede asociarse, como hacemos aquí, al estudio de la presión ejercida por la atmósfera gaseosa que envuelve la Tierra. Ello puede dar lugar a numerosas experiencias que los alumnos y alumnas pueden concebir en parte o buscar en algún texto, tales como:

a) llenar completamente una botella con agua; se invierte al tiempo que se sumerge en el agua de un recipiente y se observa que no cae (**figura 6**);

b) apretar una ventosa sobre una baldosa o una plancha de plástico duro donde queda pegada (**figura 7**).

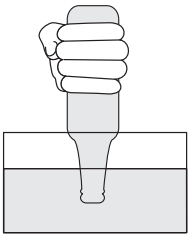


Figura 6. El agua de la botella no cae.

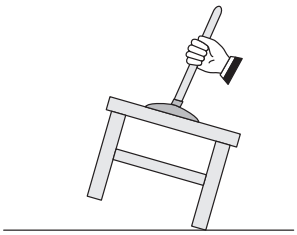


Figura 7. La ventosa se pega.

Son posibles otras muchas experiencias, como, por ejemplo, intentar levantar (sin éxito), mediante un golpe, una regla cubierta por una simple hoja de periódico bien extendida sobre una superficie lisa; o impedir, mediante una simple cartulina, la caída del agua contenida en un vaso invertido; o la realización a pequeña escala del experimento de Von Guericke de "los hemisferios de Magdeburgo" (por ejemplo, mediante dos ventosas).

El interés de este estudio de la presión atmosférica –con sus implicaciones en meteorología, etc.– recomienda un tratamiento más detenido, que hemos incluido en un anexo a este tema, para evitar la pérdida del hilo conductor del estudio de la estructura de la materia. En particular, este estudio constituye un ejemplo histórico de cómo el conocimiento científico se ha ido construyendo mediante debates y controversias y no por simple acumulación de ideas. En este caso, la hipótesis de la existencia del "mar de aire", defendida por Evangelista Torricelli y Blas Pascal, se contrapuso a la hipótesis del "horror de la naturaleza al vacío", defendida por los escolásticos. Ahora bien, como su introducción aquí desviaría el itinerario que estamos siguiendo para alcanzar los propósitos perseguidos en este capítulo, se ha preferido incluir esta problemática en un anexo. No obstante, se recomienda su estudio debido al interés histórico y epistemológico que tiene esta problemática.

Una vez mostrado que los gases poseen volumen y masa como los líquidos y los sólidos, podemos entrar a analizar otras propiedades que tienen relación con la posibilidad de aumentar y disminuir su volumen según nos convenga, bien presionándolos o bien calentándolos y enfriándolos.

1.3. Los gases se pueden comprimir y expandir fácilmente

A.9. Propongan alguna experiencia que muestre la facilidad con la que los gases se comprimen y expanden.

Comentarios A.9. Los alumnos no tienen dificultades en sugerir experiencias elementales utilizando jeringuillas cerradas llenas de aire, o una probeta que se hunde boca abajo en un recipiente con agua, o un bombín, etc. Al mismo tiempo, conviene insistir en que la existencia de equilibrio supone aceptar que la fuerza y presión externas realizadas son compensadas por la fuerza y presión que ejerce el gas,

resaltando el hecho de que los gases pueden ejercer presiones muy elevadas y solicitando de los alumnos ejemplos ilustrativos ("el elefante subido sobre una pelota", "el voluminoso turista durmiendo en la colchoneta de aire", "la enorme carga de un camión soportada por los neumáticos"...).

Conviene poner de relieve esta compresibilidad de los gases, a diferencia de los líquidos, debido a los efectos negativos que se producen cuando se introducen gases en conducciones de líquidos. Algunos ejemplos que se pueden traer a colación son los siguientes:

A) Se puede mostrar el funcionamiento de unos frenos hidráulicos con un esquema como el de la **figura 8** y solicitar la predicción de qué ocurrirá si en el sistema se forma una burbuja de aire.

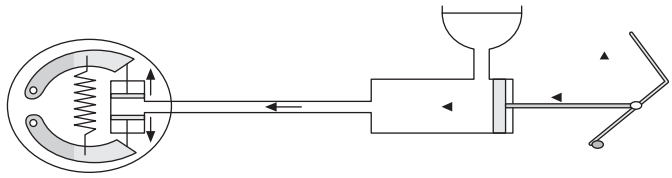


Figura 8. Esquema de los frenos hidráulicos del automóvil.

B) En medicina, cuando se habla de una *"embolia gaseosa",* se hace referencia a la introducción de una burbuja de gas en el interior de un vaso sanguíneo (como la formación de una burbuja de nitrógeno en las venas de un submarinista que asciende sin haber esperado el tiempo aconsejado para una descompresión suficiente). Se puede dar una explicación simplificada de estos hechos aceptando que la formación o introducción de burbujas gaseosas en estas conducciones pueden cortar la transmisión del aumento de presión a través de la sangre. En efecto, cuando este aumento de presión, llega a una de estas burbujas, se reduce su tamaño y no se transmite totalmente la presión por lo que el líquido no circula con la misma facilidad.

Pasemos a continuación a estudiar otra conocida propiedad de los gases, como la variación de volumen y/o de presión con la temperatura.

1.4. Los gases cambian de volumen o de presión cuando se les calienta o enfría

A.10. Propongan sencillos montajes o comenten algunas situaciones de la vida ordinaria donde se ponga en evidencia la variación de volumen de un gas con la temperatura.

Comentarios A.10. Aquí se trata de introducir cualitativamente la dilatación y contracción térmicas de gases, lo que exige la distinción entre las tres situaciones que se pueden dar: que al aumentar la temperatura del gas aumente su volumen (siempre que se mantenga constante la presión del gas), que es el caso que se plantea en esta actividad; que al calentar el gas aumente su presión (siempre que se mantenga constante el volumen); y que el cambio de temperatura se traduzca en una variación simultánea de presión y volumen. Éste es, sin duda, el caso más general. La situación se convierte así en una ocasión para realizar un ejercicio elemental de control

de variables que obliga a considerar el fenómeno en toda su complejidad y a comprender el peligro de los análisis incompletos: no se puede decir, por ejemplo, lo que le ocurrirá al volumen cuando calentamos, si no tenemos en cuenta lo que sucede con la presión. Los estudiantes suelen proponer experiencias como aproximar un globo a un foco calorífico (radiador, plancha caliente...), teniendo buen cuidado de que no se queme la goma, o, por el contrario, meter el globo muy hinchado en el congelador de la nevera. En todas ellas se muestra cualitativamente que los gases cuando se calientan o se enfrían pueden aumentar o disminuir su volumen, pero son situaciones en las que varía también la presión. Para lograr que sólo varíe el volumen hay que pensar en, por ejemplo, un recipiente rígido provisto de un émbolo que se deslice con facilidad para que la presión se mantenga constantemente igual a la atmosférica.

En cualquier caso, las variaciones de volumen que experimentan los gases con la temperatura pueden relacionarse con fenómenos como el ascenso del aire caliente (menos denso debido al aumento de volumen) y el desplazamiento de aire frío que viene a ocupar su lugar. Eso es lo que explica, por ejemplo, las brisas nocturnas o el ascenso de los globos que funcionan con un calefactor.

A.11. Conciban experiencias u observaciones cotidianas que muestren la variación de la presión de un gas al aumentar o disminuir su temperatura.

Comentarios A.11. El análisis de variables realizado lleva a los estudiantes a pensar en el calentamiento o enfriamiento de un gas que está encerrado en un recipiente rígido para que no se produzca una dilatación o contracción de su volumen. Proponen así ensayos sencillos como comparar la dureza del balón de fútbol muy hinchado y caliente con la que tiene cuando se guarda por la noche; o comprobar, por ejemplo, en una gasolinera la presión manométrica de las ruedas del vehículo antes y después de recorrer un largo trayecto.

Otra experiencia puede consistir en colocar sobre el cuello mojado de una botella vacía una moneda ligera (**figura 9**), de manera que cierre herméticamente la boca de salida. Al rodear la botella con las manos se observará que la moneda empieza a dar saltos. Los alumnos han de llegar a comprender que, mientras se calienta con las manos y se mantiene cerrada la botella, aumentará la presión del aire encerrado hasta que vence el peso de la moneda, escapando aire, con lo que la presión vuelve a disminuir, se cierra de nuevo la botella y se inicia otra vez el calentamiento del gas encerrado.

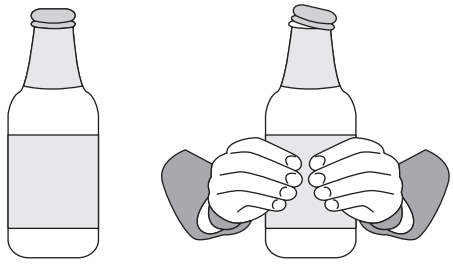


Figura 9. Experiencias para mostrar la variación de presión del aire con la temperatura.

Se puede hacer referencia a que esta variación del volumen y/o de la presión con la temperatura es de gran importancia y utilidad, pues puede ser aprovechada, por ejemplo, para construir termómetros de gases o para explicar fenómenos naturales conocidos, como el origen de las brisas marinas diurnas o nocturnas, a las que ya hemos hecho referencia, pero que no deben desviarnos del objetivo central de este tema, que es establecer con alguna precisión el comportamiento de los gases para imaginar seguidamente una estructura de los mismos que justifique dicho comportamiento.

Pasemos, finalmente, a mostrar que los gases se pueden mezclar, por sí solos, con mucha facilidad, propiedad conocida como *difusión.*

1.5. Los gases se difunden con mucha facilidad

A.12. ¿Cómo probar que los gases se mezclan por sí solos muy fácilmente?

Comentarios A.12. Esta propiedad es la que menos mencionan los alumnos cuando exponen sus ideas acerca del comportamiento de los gases. Sin embargo, una vez planteada la cuestión, conciben montajes experimentales adecuados y proponen diseños utilizando sustancias gaseosas que sean perceptibles bien por su color, por su olor, o por cualquier otra propiedad que sea detectable sensiblemente en aquellos puntos del espacio al que se supone que van a llegar trazas de dichos gases. Uno de estos diseños puede consistir en tomar dos recipientes interconectados por una llave de paso, como los de la **figura 10**, e introducir en uno de ellos un gas coloreado (por ejemplo, el obtenido al calentar suavemente unos cristales de iodo), y en el otro, aire. La difusión se observará fácilmente al abrir la llave. También se pueden utilizar esencias aromáticas volátiles que sean preferentemente de olores agradables.

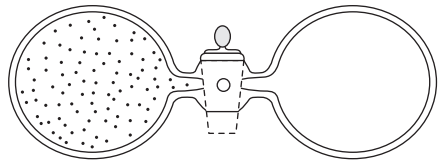


Figura 10. Experiencia para mostrar la difusión de los gases**.**

Otro ensayo bastante espectacular que puede presentar el profesor para que lo interpreten los alumnos consiste en introducir en cada uno de los extremos de un tubo largo, colocado horizontalmente, sendos algodones empapados en ácido clorhídrico y amoniaco. Inmediatamente se observará la formación en su interior de una nube blanca de polvo de cloruro de amonio en suspensión que se extenderá a lo largo del tubo (**Figura 11**).

Figura 11. Los gases amoniaco y HCl se difunden en el tubo hasta que reaccionan.

Este ensayo es de interpretación compleja para los alumnos ya, que no solamente hay difusión de los reaccionantes, sino también proceso químico con formación de una nueva sustancia, pero se trata de centrarse tan sólo en la evidente facilidad con que se difunden las emanaciones gaseosas del amoniaco y del HCl.

1.6. Recapitulación de las propiedades de los gases

A.13. Resuman en un cuadro aquellas propiedades más importantes de los gases que muestran su comportamiento unitario.

Comentarios A.13. Esta recapitulación tienen por objeto efectuar una síntesis de todo el apartado 1 del tema donde se destaquen aquellas propiedades que son convergentes a la hora de mostrar la simplicidad del comportamiento macroscópico de los gases y, más en concreto, la difusión, la compresión-expansión y la dilatación-contracción térmicas de los mismos.

2. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO PARA LA ESTRUCTURA DE LOS GASES QUE EXPLIQUE SU COMPORTAMIENTO FÍSICO

Una vez estudiado el comportamiento físico de los gases, estamos en disposición de afrontar el desafío de idear, a título de hipótesis, un modelo sobre la estructura de los gases que pueda explicar de forma coherente *el conjunto* de sus propiedades.

A.14. Propongan, a título de hipótesis, cómo pueden estar formados los gases, de manera que su estructura nos permita explicar el conjunto de propiedades que hemos descrito; es decir, la facilidad con que se difunden y mezclan con otros gases, su gran compresibilidad y facilidad para expansionarse y las variaciones de presión y/o volumen con la temperatura.

Comentarios A.14. Se inicia aquí la construcción de un modelo que permita, a título de hipótesis, explicar de forma coherente todas y cada una de las propiedades reseñadas. La mayoría del alumnado sugiere, de entrada, un modelo corpuscular o atomista, si bien, en general, no tiene los mismos atributos que el modelo cinético manejado por los científicos. Así, por ejemplo, se suele presentar a veces un modelo de partículas que carece de vacíos grandes entre aquéllas y que tiene problemas para explicar el movimiento de las partículas (Novick y Nussbaum, 1981; Furió y Hernández, 1983). No obstante, estas ideas no deben interpretarse como concepciones alternativas fuertemente estables, sino como simples construcciones tentativas puntuales que tratan de dar una respuesta "local" a una propiedad determinada (Benarroch, 2001; Oliva et al., 2003). Así, se suele presentar un modelo alternativo lleno de partículas que explica el fenómeno de la compresión y dilatación atribuyendo

plasticidad y elasticidad a las propias partículas, no sólo frente al aumento de presión, sino también frente a una variación de la temperatura (Llorens, 1988). De ahí que sea necesario incidir en la búsqueda de coherencia del modelo para explicar *todas* las propiedades. De este modo, las experiencias de difusión obligan a concebir un modelo de partículas en movimiento, ya que hay que explicar que, por ejemplo, el amoniaco se huele a distancia al poco tiempo de abrir el frasco. Y la facilidad que tienen los gases para comprimirse lleva a concebir que las partículas del gas son de tamaño despreciable y la existencia de grandes espacios vacíos en el volumen que ocupa el gas permite explicar el movimiento de dichas partículas. Respecto a la presión que hace el gas sobre las paredes, que puede llegar a ser, como ya se ha visto, muy alta, los alumnos pueden interpretarla como el resultado de los choques de millones y millones de partículas dotadas de elevadas velocidades sobre esas paredes. Por último, la influencia de la temperatura en la presión y/o el volumen, la interpretan asociando la temperatura a la velocidad de las partículas (lo que puede aceptarse en primera aproximación, pero matizando que no se trata de una relación directa). En resumen, puede constatarse que cuando se solicita una interpretación *global* del conjunto de propiedades de los gases, sin olvidar su difusión, las alumnas y alumnos abandonan las ideas contradictorias con el modelo elemental cinético de los gases sostenidas inicialmente (Hernández y Furió, 1987).

En definitiva, el modelo de gas ideal permite interpretar más coherentemente el comportamiento físico de los gases que otras concepciones alternativas, y los mismos alumnos pueden resumir al final del debate de esta actividad sus características particulares, tales como:

a) una estructura en forma de partículas de tamaño insignificante frente al volumen en el que se hallan, que se encuentra, pues, prácticamente vacío;

b) estas partículas con elevadas velocidades originan una presión al chocar con lo que se interponga a su paso;

c) la temperatura del gas está relacionada con la velocidad (media) de las partículas (más bien, es con la energía cinética promedio del conjunto de partículas).

d) Se entiende que en este gas, denominado "ideal" por las simplificaciones introducidas, son despreciables las interacciones atractivas entre sus partículas debido a sus elevadas velocidades y a la separación entre las mismas.

Ahora convendrá detenerse en comprobar en qué medida el alumnado ha sustituido sus ideas iniciales, mediante la propuesta de diversas situaciones en cuyas interpretaciones se deberá aplicar este modelo de partículas. Comenzaremos planteando dos sencillas actividades (Martínez Torregrosa et al., 1997).

A.15. Con ayuda de una jeringa se extrae aire de un matraz. Suponiendo que pudieran verse las partículas que componen el aire del matraz, dibujen un esquema de lo que se vería antes y después de sacar el aire.

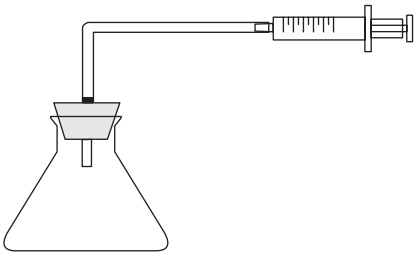


Figura 12. Extracción de aire de un matraz.

A.16. Dos globos están conectados a un matraz, como indica la figura. Expliquen lo que ocurrirá al calentar el matraz; representen las partículas del aire antes y después de calentar.

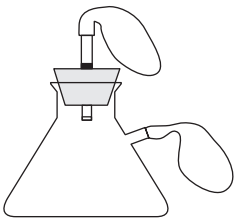


Figura 13. ¿Qué ocurre al calentar el matraz?

Comentarios A.15 y A.16. Se trata de actividades destinadas a poner a prueba la coherencia con que los alumnos aplican el modelo corpuscular que acaban de construir y, más aún, a facilitar el afianzamiento y mejor comprensión de dicho modelo. Como explican Martínez Torregrosa et al. (1997), es frecuente que en la actividad A.15 algunos alumnos hagan dibujos como el de la figura 14.

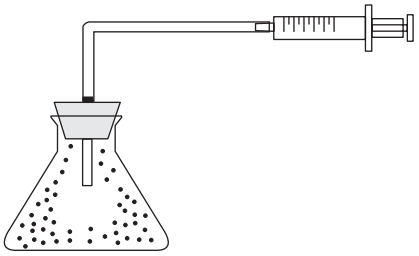


Figura 14. ¿Es este dibujo coherente con el modelo corpuscular introducido?

Cabe insistir entonces en la idea de movimiento caótico de las partículas en todas direcciones, que lleva a su distribución homogénea en todo el recipiente (lo que era necesario, por ejemplo, para explicar la difusión).

También en la actividad A.16 pueden aparecer errores, como no dibujar partículas en los globos deshinchados, o suponer que sólo se hincha el globo superior, "puesto que el aire caliente va hacia arriba".

Se puede ahora profundizar en el modelo, proponiendo su utilización para realizar ***predicciones*** susceptibles de ser puestas a prueba experimentalmente.

A.17. Considerando el modelo propuesto, ¿de qué factores dependerá la presión de un gas? ¿Cómo influirán estos factores? Propongan ejemplos de la vida ordinaria que apoyen las hipótesis.

Comentarios A.17. Se pretende aquí someter a prueba, de una forma más rigurosa, la validez del modelo de gas introducido mediante la emisión de hipótesis derivadas del mismo que los alumnos expresarán inicialmente en forma semicuantitativa (por ejemplo, "a mayor volumen, el gas tendrá menos presión"). En principio, no es fácil para el alumnado el abordaje de situaciones como la propuesta, donde una variable, en este caso la presión P, depende de varias magnitudes. Convendrá iniciarlos (si no lo han hecho anteriormente) en que cualquier análisis funcional como el que se solicita requiere estudiar por separado cómo depende la presión de cada una de las variables estimadas. Ello presupone necesariamente que, en cada relación concreta, se controlen las variables restantes. Es lógico que, en esta fase de emisión de hipótesis, los alumnos y alumnas planteen todo tipo de dependencias entre la presión y variables macroscópicas (volumen V, temperatura t y masa m del gas) y submicroscópicas (cantidad de partículas, velocidad e incluso masa y tamaño de las mismas). Por tanto, esta actividad requerirá la intervención del profesor para reformular las respuestas haciendo ver, por ejemplo, que la velocidad de las partículas ya está relacionada con la propia temperatura del gas. La única variable microscópica que importa para explicar la presión es el número de partículas, pues todas tienen tamaño despreciable y se comportan igual. Naturalmente, si se contempla el número de partículas como variable, ya no tiene sentido incluir la masa m. Se puede así llegar a establecer la siguiente relación de dependencia: ***P = f (N, t, V)***, que se completa con las siguientes consideraciones cualitativas:

a) La presión, P, ha de aumentar con la temperatura, t, si permanecen constantes el volumen, V, y el número de partículas, n. Es decir, sugieren una relación del tipo: P/t = cte. (para N y V constantes). Cabe recordar que los alumnos desconocen todavía la escala absoluta de la temperatura. El desarrollo de esta investigación permitirá, precisamente, introducirla.

b) Del mismo modo, el alumnado propone razonadamente las relaciones $P \cdot V$ = cte. (para N y t constantes), P/N = cte. (para V y t constantes) y V/t = cte. (para P y t constantes). Más adelante, cuando los estudiantes intenten contrastar experimentalmente esta última relación, comprobarán que no es totalmente correcta. Ése será el momento de introducir de una manera sencilla la escala Kelvin de temperatura.

Mientras todavía no ha sido introducida la escala Kelvin de temperatura, los estudiantes conciben la expresión general: $P \cdot V = kNt$, que engloba a todas las anteriores, donde k sería una constante común para todos los gases. Más adelante comprobarán que la expresión correcta es $P \cdot V = k \cdot N\ T$, donde T es la temperatura medida en la escala Kelvin.

Ahora nos detendremos en el estudio cuantitativo de cómo depende la presión del gas con el volumen, siempre que se mantengan constantes tanto la temperatura como la cantidad de partículas (masa) del gas encerrado.

A.18. Diseñen un montaje experimental que permita contrastar la relación supuesta entre la presión y el volumen ocupado por un gas.

Comentarios A.18. Los alumnos sugieren la utilización de un cilindro transparente, provisto de un émbolo, que pueda subir y bajar fácilmente presionando sobre cierta cantidad de gas. Una simple jeringuilla, o bien una probeta graduada, como se describe en el *Nuevo Manual para la Enseñanza de las Ciencias* (UNESCO, 1975), puede servir perfectamente. Basta colocar pesas iguales sobre el émbolo dispuesto verticalmente para obtener valores relativos de la presión, medir el volumen en cada caso y construir una tabla de valores P-V.

El uso de jeringuillas de plástico de 10 ml permite, tomando algunas precauciones, obtener resultados bastante correctos. Entre estas precauciones se pueden mencionar las siguientes:

1) Para cerrar la jeringuilla, los alumnos proponen, entre otros procedimientos: fundir con una llama la parte más estrecha, poner un tapón de goma sobre la mesa y presionar sobre él la jeringuilla, hundir la hipodérmica sobre un tapón de corcho, etc. Excepto el último caso, los demás funcionan bastante bien.
2) Hay que tener en cuenta la fricción (se puede utilizar algún lubricante pero, en todo caso, conviene presionar ligera y rápidamente varias veces con la mano hasta constatar que la posición del émbolo no varía).
3) Las pesas han de ser lo más planas posible (va muy bien un cilindro de hierro cortado en discos de manera que cada uno pese unos 200 gramos). Los resultados obtenidos son bastante aceptables.

A.19. Realicen el experimento concebido y analicen los resultados obtenidos.

Comentarios A.19. Los alumnos, que ya han realizado numerosas representaciones gráficas, recurren a representar $P = f(V)$, que según la hipótesis manejada debe de conducir a una rama de hipérbola. Conviene llevarles a realizar una representación que proporcione –siempre según la hipótesis– una línea recta. Ello conduce a $P = f(1/V)$. Ésta es una buena oportunidad para que los alumnos utilicen algunos de los programas informáticos disponibles, a fin de realizar los cálculos y construir los gráficos correspondientes, aunque se trate de un caso muy simple. Normalmente, es necesario que el profesor haga algunas consideraciones sobre los valores de la presión tomados, puesto que los alumnos suelen tener dificultades en el manejo de valores relativos: si cada pesa supone un incremento de presión $\Delta P = 1$ (unidad arbitraria), y la presión atmosférica es P_o, los valores sucesivos serán: $P_o + 1$, $P_o + 2$, $P_o + 3$, etc. Ahora basta tomar el valor P_o como origen en el eje de presiones (es decir, desplazar la escala) para poder considerar como valores de la presión 1, 2, 3, etc. Es importante no añadir demasiadas pesas, pues si aumentamos mucho la presión pueden producirse escapes de aire por el émbolo.

Los resultados obtenidos, si se han adoptado las precauciones indicadas en la actividad anterior, son bastante aceptables. No obstante, es preciso salir al paso de posibles distorsiones sobre el trabajo científico por parte de los alumnos, tales como imaginar que bastan unos pocos resultados como los obtenidos en un laboratorio escolar para dar por verificada o falsada una hipótesis (Hodson, 1985). Para ello, el profesor puede recurrir (después de que los alumnos realicen los experimentos correspondientes) a comentar los trabajos realizados por Boyle y por Mariotte.

Con este mismo objetivo se puede hacer uso, también, de tablas de resultados obtenidas en experimentos realizados por científicos, muchas veces en condiciones más rigurosas que las de un laboratorio escolar. En este sentido, se propone cualquiera de las dos actividades siguientes:

A.20. Se ha medido el volumen ocupado por una cierta cantidad de gas a temperatura constante, para distintas presiones, obteniendo la siguiente tabla de valores. Procedan al análisis de estos resultados.

***P* (en atm)**	**9**	**15**	**21**	**45**	**63**
***V* (en litros)**	**70**	**42**	**30**	**14**	**10**

A.20 (bis). En un experimento original, Boyle midió la longitud, L, (directamente proporcional al volumen) de una columna de gas, en función de la presión ejercida por una columna de mercurio Δh (ver figura). Con este procedimiento obtuvo la tabla siguiente:

L (cm)	**50,0**	**45,0**	**40,0**	**35,0**	**30,0**
Δh (cm)	**0,0**	**8,3**	**18,0**	**32,1**	**50,0**

(La presión atmosférica se midió en todos los casos y resultó ser de 75 cm Hg). Procedan al análisis de los resultados obtenidos.

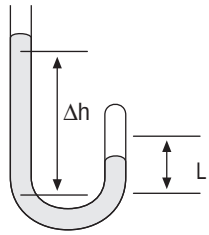


Figura 15. Un diseño experimental para ver si se cumple PV = k.

Comentarios A.20 y A.20 (bis). Las actividades anteriores no sólo contribuyen a motivar a los alumnos (dada la convergencia de sus resultados con los obtenidos por relevantes científicos) y a proporcionar una imagen del trabajo científico más próxima a la realidad, sino que, también, pueden utilizarse actividades del mismo tipo, cuando la realización material de un experimento resulta difícil de llevar a cabo (por complejidad del montaje, falta de medios técnicos, falta de tiempo, etc.). Ello no disminuye el carácter de indagación del trabajo realizado (muchos investigadores recurren a otros equipos para la realización de experiencias complejas). En cualquier caso, no es preciso ni conveniente el contrastar todas y cada una de las relaciones que se derivan de las hipótesis emitidas. Bastaría la realización de uno o dos experimentos, elegidos de acuerdo con el tiempo y el material disponible, y proporcionar tablas de datos de los otros aspectos para que los alumnos y alumnas analicen y extraigan las oportunas conclusiones. O, si se prefiere, se puede simplemente señalar que, de igual modo, se puede constatar la validez de las restantes expresiones. De ahí que las tres actividades siguientes se propongan con carácter opcional.

A.21. (opcional) Diseñen un montaje que permita contrastar la relación V/T = cte. para una masa dada de gas (N = cte.) a presión constante.

A.22. (opcional) Procedan a la realización del experimento diseñado y al análisis de los resultados obtenidos.

A.23. (opcional) Se ha procedido a medir el volumen ocupado por una masa dada de un gas a presión constante, para distintas temperaturas, obteniendo los valores de la tabla. Analicen dichos resultados.

t (°C)	0	10	20	30	40	50	60
V (cm^3)	9.100	9.430	9.770	10.100	10.400	10.800	11.100

Comentarios A.21 a A.23. En los comentarios anteriores ya nos hemos referido en parte a estas actividades. En la A.21, los alumnos suelen indicar la posibilidad de sumergir una jeringuilla en agua y calentar a baño maría el gas, obteniendo así una tabla del volumen frente a la temperatura. Naturalmente, las variaciones de volumen resultan inapreciables cuando se utiliza una jeringuilla y es preciso pensar en diseños algo más sofisticados, como el utilizado por Gay Lussac (Holton y Roller, 1963), consistente en un matraz grande provisto de un capilar horizontal calibrado y cerrado por una gota de mercurio, lo que permite medir con facilidad pequeñas variaciones de volumen, calentando uniformemente el matraz al baño de maría, sin que se modifique la presión. Dado que el montaje experimental es bastante exigente, se puede pasar directamente a la actividad siguiente (A.23), en donde se da ya una tabla de resultados "obtenidos por otros equipos".

Un aspecto interesante es la extrapolación de la gráfica obtenida a partir de los datos proporcionados en A.23, para ver a qué temperatura el volumen del gas se haría cero (lo que sugiere la existencia de un cero absoluto). Aunque, obviamente, éste sea un proceso irrealizable (ya que a cierta temperatura finita todo el gas se condensará formando un líquido), no por ello esta extrapolación (o la de los valores de P = f(t) a V constante) deja de ser indicativa de la existencia de un límite inferior de temperatura, predicho también (y conviene señalarlo) al considerar otras situaciones físicas. Así pues, existe abundante evidencia experimental acerca del carácter de límite inalcanzable que posee el cero absoluto.

Mediante experimentos como los realizados y otros mucho más precisos, se ha verificado la validez aproximada de las hipótesis emitidas, apoyando la idea de una estructura discontinua de la materia gaseosa, que estaría formada por partículas de tamaño despreciable respecto al volumen que ocupa el gas.

A.24. La expresión PV = kNT, conocida como "ley de los gases perfectos", no se cumple en la realidad más que de forma aproximada, habiéndose observado que cuánto mayor es la presión a que se somete un gas, menos se ajusta su comportamiento a dicha ecuación. Tratar de justificar este hecho.

Comentarios A.24. Con esta actividad se pretende que los alumnos lleguen a comprender el carácter de aproximación que la ley PV/T = cte. (y, en general, cualquier ley) tiene. Por supuesto, los alumnos son capaces de entender que si se aumenta mucho la presión a que se somete un gas, las condiciones consideradas en el modelo se alteran: ya no puede suponerse que el volumen ocupado por las partículas sea

despreciable en comparación con el volumen del recipiente, ni tampoco que las partículas no se ejerzan entre ellas otras fuerzas que las de la colisión.

A.25. Una jeringuilla herméticamente cerrada tiene 10 cm³ de aire a la presión de 1 atmósfera y a 25º C de temperatura. Calcular:

a) La presión que ejerce sobre las paredes el aire contenido cuando ocupa un volumen de 3 cc a la temperatura de 25º C.

b) El volumen que ocupará el aire contenido si, dejando libre el émbolo desde su posición inicial, elevamos la temperatura a 50º C.

c) La presión del aire cuando la temperatura se eleve a 50º C pero manteniendo fijo el émbolo en su posición inicial.

Comentarios A.25. Se trata de un ejemplo de actividad para el manejo de las leyes estudiadas, con objeto de conseguir la familiarización de los alumnos con las mismas.

Una vez se ha propuesto un modelo de partículas para la estructura de los gases, no debemos olvidar que la meta que perseguíamos desde el comienzo de este estudio era buscar una estructura común a todos los materiales, independientemente de la forma o estado físico con que se presenten.

3. ¿SE PUEDE EXTRAPOLAR EL MODELO CORPUSCULAR DE LA MATERIA GASEOSA A LOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS?

El estudio que se ha realizado nos ha llevado a concebir un modelo corpuscular para los gases y ahora vamos a ver en qué medida puede ser extensible a los sólidos y líquidos. Es decir, intentaremos justificar la validez de la hipótesis corpuscular para interpretar también el comportamiento de los estados condensados de la materia. Primeramente, nos referiremos a las posibilidades de transformación de los gases en líquidos y sólidos. La importancia de este estudio es obvia: si pudiéramos concluir que cualquier sustancia puede pasar de gas a líquido o sólido y viceversa, cabría pensar que también los líquidos y sólidos están formados por partículas.

Esta hipótesis exigiría, naturalmente, explicar cómo tiene lugar el paso de las partículas libres de un gas a la situación aparentemente compacta y continua de un sólido o un líquido y poder dar cuenta de sus propiedades. Así pues, dedicaremos este apartado a:

- Estudiar si es posible licuar y solidificar cualquier gas (o viceversa).
- Explicar con el modelo de partículas cómo pueden tener lugar estos "cambios de estado".
- Intentar mostrar que el comportamiento de líquidos y sólidos se explica con la existencia de partículas.

3.1. Los cambios de estado en la materia ordinaria. ¿Se puede tener aire sólido o hierro gaseoso?

En lenguaje coloquial acostumbramos a decir que el aire *es* un gas, el alcohol un líquido o el hierro un sólido, y clasificamos los materiales y sustancias en cada uno de estos estados físicos. Por otra parte, sabemos que el agua pasa fácilmente a hielo o vapor según las condiciones a que la sometamos. Pero, ¿estos cambios de estado que suceden en el agua pueden ser experimentados por cualquier otra sustancia?

A.26. Propongan ejemplos, tomados de la vida cotidiana, de sustancias que puedan encontrarse en los distintos estados sólido, líquido y gaseoso.

A.27. Sugieran algún procedimiento para licuar los gases.

Comentarios A.26 y A.27. Los alumnos pueden referirse a situaciones tan distintas como la fusión del hierro en una siderúrgica, a las botellas de gas líquido (visible en algunos encendedores transparentes), la condensación de vapor de agua en una superficie fría, etc.

Se pueden completar estas observaciones haciendo que los propios alumnos fundan naftalina, azufre, metales como el estaño o sublimen alguna sustancia como el yodo o la misma naftalina (en este último caso, se ha de hacer en una vitrina de gases).

Las referencias a estos distintos ejemplos puede ir acompañada de consideraciones sobre el interés de estos procesos, sobre el peligro de almacenamiento de gases combustibles u otros aspectos de relación CTSA.

En la actividad A.27 conviene evitar la asociación exclusiva de la licuación de gases con su enfriamiento poniéndoles en contacto con un material muy frío. Los estudiantes han de saber que hay otros procedimientos para licuar un gas, como es tenerlo a una elevada presión y someterlo a expansiones rápidas y sucesivas que consiguen bajar mucho su temperatura. También se pueden licuar los gases comprimiéndolos mucho.

Lo esencial de este estudio de los cambios de estado (que se retomará cuando se estudien los fenómenos caloríficos) es tan sólo establecer la vinculación entre los gases y otros estados en que suele presentarse la materia ordinaria terrestre. Una vez verificada dicha vinculación, se trata ahora de ver cómo pueden explicarse los cambios de estado con ayuda del modelo corpuscular.

A.28. Expliquen, con ayuda del modelo corpuscular de los gases, cómo puede tener lugar el paso de gas a líquido.

Comentarios A.28. Las dos actividades anteriores, A.26 y A.27, han permitido ver que los gases pueden licuarse tanto por enfriamiento directo como comprimiéndolos. Ambas formas pueden explicarse con ayuda del modelo de partículas, si se introduce la hipótesis adicional de la existencia de fuerzas de unión entre las partículas (que en los gases no serían apreciables, debido a las enormes distancias existentes entre las partículas y a sus elevadas velocidades). En el primer caso, los alumnos comprenden que el enfriamiento del gas supone disminuir la velocidad de las partículas hasta el punto de que las fuerzas atractivas no sean despreciables frente a la agitación propia de las partículas en el estado gaseoso y lleguen finalmente a enlazarse. Por otra parte, la compresión a que se somete al gas obliga a que el volumen en el que se mueven la partículas sea cada vez más pequeño y se favorezca así la interacción entre ellas, llegando también a unirse. Así pues, el modelo corpuscular parece que puede interpretar esta formación de líquidos siempre que se admita la existencia de interacciones entre las partículas y se produzca una elevada reducción de los grandes vacíos que se suponía existían en la estructura de los gases. Por esta razón, a los líquidos y sólidos se les suele denominar "materia condensada".

Pasaremos finalmente a ver en qué medida la estructura corpuscular permite explicar algunas propiedades de los sólidos y los líquidos.

3.2. ¿Siguen estando separadas y moviéndose las partículas en líquidos y sólidos?

La existencia de los cambios de estado nos ha permitido extender el modelo corpuscular a líquidos y sólidos, sin más que tener en cuenta que las partículas pueden interaccionar entre sí llegando a unirse cuando las condiciones de temperatura y presión lo permiten. Ahora continuaremos aplicando cualitativamente este modelo corpuscular para ver si con él se pueden interpretar también las propiedades de los sólidos y líquidos, como, por ejemplo, su dilatación, la difusión de líquidos miscibles o la disolución de sólidos en líquidos.

A.29. Propongan algunas observaciones y experiencias que apoyen la hipótesis de que en los sólidos y líquidos sigue habiendo partículas en movimiento y huecos en sus estructuras.

A.30. Los sólidos y líquidos cuando se calientan o enfrían se dilatan o contraen, respectivamente. Esta dilatación y contracción suelen ser muy pequeñas (del orden de un 0,5% de su tamaño por cada 100º C que sube su temperatura). Explicar esta propiedad con ayuda del modelo de partículas de la materia.

Comentarios A.29 y A.30

En A.29 se pueden proponer experiencias de difusión al mezclar líquidos teniendo en cuenta que uno de ellos sea coloreado y que se han de mezclar con mucho cuidado; también se pueden realizar las experiencias de disolución de sólidos iónicos fuertemente coloreados, como el permanganato o el dicromato de potasio. En ambos tipos de ensayos se percibe muy claramente cómo se difunden a través del disolvente. Aquí, el alumnado recurre a los argumentos ya empleados para explicar la difusión en gases tratada en el apartado 1.5, que vienen a confirmar el movimiento de las partículas disueltas en la estructura del líquido. La interpretación lleva a aceptar la existencia de huecos en esta última que permitan el movimiento percibido.

Otra experiencia que se puede planificar y realizar en un laboratorio escolar es la disolución de metanol en agua y comprobar que la suma de volúmenes iniciales de los líquidos es un poco menor que el volumen de la mezcla. Es evidente que este ejemplo requiere de una interpretación estructural. Una explicación plausible sería aquella que imaginara la posible ubicación de las pequeñas partículas de metanol en algunos de los huecos que presenta una estructura tan abierta como la del agua y, en consecuencia, se obtiene otra más compacta y de menor volumen. Conviene indicar que no sólo es un problema espacial, asimismo, debido a las interacciones entre las partículas. Al mismo tiempo, también es cierto que la disolución de otras sustancias en agua puede tener un efecto contrario de aumento de volumen (caso del ácido sulfúrico en agua).

Se puede concluir, pues, que el movimiento sigue siendo consustancial para las partículas, pero debido a las atracciones de las que les rodean, se restringe su libertad de desplazamiento en forma de movimientos vibratorios estrechamente ligados a la temperatura del sistema material. Así pues, al elevar su temperatura aumentará la intensidad de las vibraciones y con ellas la sección eficaz ocupada por cada partícula.

4. NUEVOS PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS

Como hemos visto, se ha cubierto el principal objetivo de esta primera parte del tema: imaginar un modelo de estructura para la materia que permitiera explicar de forma coherente el mayor número posible de propiedades de gases, líquidos y sólidos. Ahora bien, como era de esperar, los nuevos conocimientos adquiridos tienen que superar nuevos desafíos que se presentan en forma de problemas.

A.31. Planteen nuevas preguntas relacionadas con la estructura de la materia que en el desarrollo del tema no hayan surgido y consideren de interés.

Comentarios A.31. La hipótesis atómica o corpuscular de la materia propuesta en el estudio del tema es un marco teórico de indudable valor que nos permite avanzar más fácilmente hacia el conocimiento, ya que favorece el planteamiento de problemas de mayor complejidad a los que todavía no hemos dado respuesta. Así, por ejemplo, ya tenemos una idea para abordar la explicación general de cómo están constituidas las sustancias y cómo ocurren los cambios físicos, pero quedan por explicar cambios más radicales, como los químicos, en los que unas sustancias se transforman en otras diferentes. Al propio tiempo, podemos preguntarnos si estas partículas que conforman las sustancias tendrán o no estructura interna, es decir, cómo estarán formadas para poder llegar a explicar las propiedades características de cada de una de las más de dos millones de sustancias conocidas.

Otra pregunta a contestar por el modelo atómico de la materia que hemos iniciado aquí se refiere a buscar las causas de las interacciones, tanto entre las partículas cuando forman los estados condensados de la materia como las existentes entre los supuestos componentes que unidos conforman las propias partículas y donde convergerán los problemas originados en dominios de estudio próximos, como el del calor, o más remotos, como el de la electricidad, que se generaron históricamente mucho más tarde.

Una pregunta que suelen plantear aquellos alumnos que no han estudiado adecuadamente las leyes del movimiento es la de "¿qué es lo que mantiene las partículas en movimiento (siendo así que los objetos se paran a menos que les empujemos)?". Insistimos en la conveniencia de resaltar estos problemas, que remiten a otros campos de la ciencia, y también en la necesidad de hacer hincapié en la importancia e implicaciones de estos estudios en nuestras vidas.

Podemos referirnos, por último, a la profundización en el estudio de la presión atmosférica, que quedó planteado en el apartado 1.2 y al que dedicaremos, dado su interés, un amplio anexo.

ANEXO

EL "MAR DE AIRE" Y LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA[1]

Un problema histórico que generó debates apasionantes fue el planteado en la primera mitad del siglo XVII sobre si el aire atmosférico ejercía o no presión sobre los objetos y las personas que habitamos en la superficie terrestre, al igual que una persona presiona sobre la nieve. Pero uno puede preguntarse: ¿es o no interesante en la actualidad este estudio?

A.1*. ¿Para qué puede servir conocer la física de la atmósfera?

Comentarios A.1*. Una reflexión colectiva sobre la utilidad de estos conocimiento puede poner de relieve que la simple interpretación de los informativos sobre el tiempo que se ven u oyen diariamente en los medios de comunicación (periódicos, radio, TV, etc.) requiere una iniciación a las causas del movimiento de las grandes masas de aire atmosférico. La metereología como parte de la física actual que tiene por objeto, entre otras, la predicción del tiempo atmosférico, está basada en el conocimiento del comportamiento de los gases que estamos estudiando. Por otra parte, deportes como el montañismo, el atletismo, el submarinismo o la espeleología, por citar algunos, también requieren conocimientos de esta temática sin los cuales estos deportistas pueden poner en peligro innecesariamente su salud e incluso su vida.

A.2*. Al interpretar dos experiencias realizadas en la A.8 del tema de los gases [(a) El agua del interior de una botella invertida sobre una cuba que tiene agua no cae; (b) Al apretar la ventosa sobre un baldosín queda pegada], a menudo se dan las siguientes explicaciones:

a) el agua no cae porque se crearía el vacío dentro de la botella;

b) al apretar la ventosa sale el aire y el vacío formado es el que hace que se quede pegada al baldosín.

Comenten si están de acuerdo o no con las razones apuntadas y propongan, en su caso, alguna hipótesis alternativa.

[1] Las actividades de este anexo se distinguen, mediante un asterisco(*), de las incluidas en el desarrollo de la unidad didáctica.

A.3*. En 1638, Galileo había hecho notar que las bombas aspirantes de extracción de agua (véase figura 1*) no podían elevarla más allá de cierta altura (alrededor de 10,4 m). Y en 1644, Torricelli, uno de los discípulos de Galileo, concibió la idea de llenar un tubo de mercurio (unas 13 veces más denso que el agua) de un metro de altura y sumergirlo boca abajo en una cubeta llena también de mercurio. El líquido descendía hasta una altura de 76 cm (una treceava parte de la alcanzada por el agua en las bombas). ¿Cómo pueden entenderse estos hechos de acuerdo con la hipótesis de horror al vacío? ¿Qué otra explicación puede darse a los mismos?

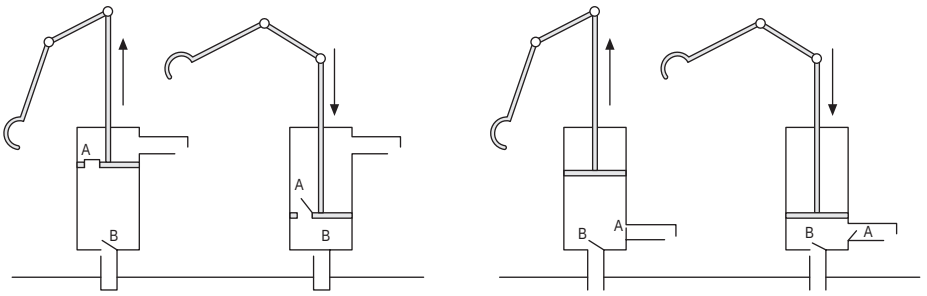


Figura 1*. Bombas aspirante-impelentes para extraer agua.

Comentarios A.2* y A.3*. En la actividad 2* se han propuesto algunas experiencias observadas cotidianamente y respuestas dadas por el propio alumnado donde se manejan razonamientos ambiguos en torno a la hipótesis de horror al vacío. Así, por ejemplo, mientras la explicación dada en **a)** tiene como fundamento explícito la hipótesis citada, la **b)** admite la existencia del vacío precisamente para atribuirle la acción de mantener unidas las superficies, pensamiento muy común también extendido en personas adultas. En la actividad 3* se hace uso de la historia para explicitar más claramente la hipótesis antagónica a la del horror al vacío. La nueva hipótesis supuso que vivimos en el fondo de un "mar de aire" y que este aire pesa, lo que implicó aceptar la existencia de una presión atmosférica muy elevada en la que habrá que incidir ahora.

Los trabajos de Galileo, Torricelli y otros llevaron a físicos como Pascal y Descartes a romper con la idea de horror al vacío y a buscar la explicación en "el peso de la masa del aire" en que nos encontramos sumergidos.

A.4*. ¿Cómo podría mostrarse experimentalmente que la altura de la columna de mercurio es debida a la presión del aire existente por encima de la cubeta y no al "horror al vacío"?

Comentarios A.4*. Cabe esperar que los alumnos sugieran subir a lo alto de un monte donde, al haber menos aire encima de la cubeta, la altura de la columna de mercurio debería descender. Vale la pena recordar que éste fue el experimento concebido por Pascal y realizado con éxito por su yerno. Ello permitió escribir a Pascal:

"¿Acaso la naturaleza aborrece más al vacío sobre los montes que en los valles, cuando hay humedad o cuando hace buen tiempo? ¿No lo odia igualmente en un campanario que en un granero o en un corral?

Que todos los discípulos de Aristóteles reúnan lo más potente de sus maestros y sus comentadores, para explicar estas cosas por el horror al vacío, si es que pueden. Si no, reconozcan que las experiencias son los maestros de la física...".

A.5*. ¿Cómo se podría diseñar un experimento para averiguar lo que vale la presión atmosférica en la superficie terrestre?

Comentarios A.5*. Para la determinación del valor de la presión atmosférica son posibles distintos diseños. Uno de ellos puede ser el realizado por Torricelli viendo el peso de la columna de mercurio; otro más sencillo, para llevarlo a cabo en un laboratorio escolar, consiste en utilizar una ventosa y un dinamómetro que mida la fuerza necesaria para separarla una vez se ha extraído el aire y quedar pegada a una superficie lisa. También puede utilizarse un bombín invertido al que se le cuelgan pesas calibradas (UNESCO, 1975). En cualquier caso, convendrá resaltar el elevado valor a que estamos sometidos en el fondo del mar de aire. Este gran valor se puede poner aún más de manifiesto con el famoso experimento de Magdeburgo.

A.6*. En 1650 se había inventado la bomba de aire, por el alemán Otto von Guericke, que servía para hacer el vacío. Con este aparato realizó el famoso experimento de los hemisferios de Magdeburgo, según el cual varios caballos tirando con toda su fuerza no podían separar dos semiesferas puestas en contacto y de las que se extraía el aire (figura 2*). Sugieran una forma sencilla de reproducirlo.

Figura 2*. ¿Por qué los caballos no pudieron separar las semiesferas?

A.7*. ¿De qué piensan que dependerá el valor de la presión atmosférica? Propongan experiencias que permitan comprobar sus suposiciones.

A.8*. Hagan un gráfico que muestre cualitativamente cómo cabe esperar que varíe la presión atmosférica a medida que se asciende desde la superficie terrestre.

A.9*. ¿Por qué los aviones, cuando vuelan a alturas elevadas (10.000 m), hay que mantenerlos herméticamente cerrados a la presión normal?

Comentarios A.6* a A.9*. Para "reproducir" un experimento como el de los hemisferios de Magdeburgo (A.6*), los estudiantes sugieren poner en contacto dos ventosas y extraer el aire presionando (ello se facilita manteniendo levantada una de las lengüetas mientras se presiona). La experiencia es fácil de realizar y les resulta muy sorprendente. En relación a la A.7*, los alumnos fácilmente llegan a la conclusión de que la presión atmosférica irá disminuyendo con la altura, pues cuanto más alto se suba en el "mar de aire" menor será el peso de aire que queda por encima. Más

difícil es que imaginen que la disminución de la presión con la altura no es lineal, y por ello en A.8* el profesor tendrá que reformular las respuestas para hacer ver que esta disminución de presión será mucho más drástica (exponencial). Esta discusión se puede relacionar fácilmente con el contenido de A.9*, donde resultará familiar a los estudiantes el porqué hay que mantener "presurizados" los aviones que vuelan a gran altura.

Mostrada la existencia del mar de aire y la gran presión que ejerce sobre los cuerpos sumergidos en él, interesa ahora detenernos brevemente en la medida de dicha presión, es decir, de la presión atmosférica. Los barómetros concebidos por Torricelli, basados en la lectura de la altura de una columna de mercurio, presentan serios inconvenientes (los vapores de mercurio son venenosos) y han sido sustituidos por los barómetros metálicos o aneroides (es decir, "sin aire").

A.10*. En la figura 3* se ha esquematizado un barómetro aneroide que consiste en una caja cilíndrica metálica donde se ha hecho el vacío y en cuyo interior hay un muelle (R). Expliquen el funcionamiento de este instrumento.

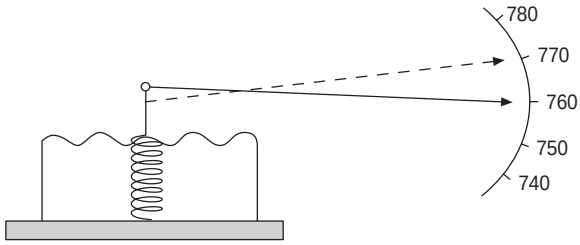


Figura 3*. Esquema de un barómetro metálico o aneroide.

A.11*. Busquen un mapa del tiempo de su región e interprétenlo explicando, en particular, qué relación existe entre los valores de la presión en las líneas isobaras y las zonas de anticiclón y borrasca.

Comentarios A.10* y A.11*. El objetivo perseguido con estas actividades consiste en familiarizar al alumnado con la medida de presiones de gases al tiempo que se busca una primera aproximación a nociones elementales de la metereología como zona de interés próxima a los futuros ciudadanos (en particular, a los conceptos de isobara, anticiclón, borrasca, etc., sin los cuales es difícil llegar a entender la previsión del tiempo). No obstante, el estudio del movimiento de las grandes masas de fluido requiere tener en cuenta, además, los movimientos de rotación y traslación terrestres, con lo que se desviaría el hilo conductor del tema, si bien puede quedar como nuevo problema en el que convendría profundizar más adelante.

Ahora se pueden aplicar los conocimientos adquiridos acerca de la presión atmosférica a diversas situaciones problemáticas, como las siguientes:

A.12*. Justifiquen que en la Luna no exista atmósfera.

Comentarios A.12*. La atracción gravitatoria que la enorme masa de la Tierra ejerce sobre las moléculas de oxígeno, nitrógeno, CO_2, etc., explica que la atmósfera sea

atrapada por el campo terrestre, mientras no ocurre lo mismo en las proximidades de la superficie de la Luna. Se puede explicar también por qué las moléculas de hidrógeno, mucho más ligeras, no son retenidas por la Tierra.

A.13*. Frecuentemente, cuando en invierno se aclaran copas con agua caliente y se dejan invertidas encima del banco de la cocina mojado, se observa que quedan pegadas. ¿Cómo se puede explicar este fenómeno?

A.14*. Una lata metálica de aceite de coche, que está abierta y contiene un poco de agua, se calienta fuertemente y, cuando se observa que sale vapor, se cierra herméticamente con su tapón. A los pocos minutos (y antes si se la rocía con agua fría) se observa cómo se aplasta la lata. Lo mismo puede conseguirse más fácilmente enjuagando una botella de plástico con agua caliente y cerrándola herméticamente. ¿Por qué ocurre este hecho?

Comentarios A.13* y A.14*. En el primer caso se puede observar si los estudiantes utilizan argumentos correctos. Es muy posible que de nuevo aparezcan razones como "al enfriarse el aire encerrado en la copa se crea el vacío y éste adhiere la copa al banco", que muestran que aún no son conscientes de que la acción es ejercida realmente porque la presión atmosférica es superior a la existente en el interior de la copa, cuyo aire caliente se ha enfriado. Convendría llegar a explicaciones submicroscópicas donde se hace intervenir a las partículas del aire encerrado y del externo. Análogamente se puede hacer en las explicaciones de A.14*, ya que se ha comprobado que aparecen incluso en estudiantes de Magisterio ideas animistas acerca de "la tendencia que tiene la lata para recuperar el aire que había perdido en el calentamiento".

A.15*. Realicen una breve síntesis del estudio realizado acerca de la presión atmosférica.

Comentarios A.15*. Se trata de que el alumnado elabore un informe en el que se haga una recapitulación de los principales conocimientos y habilidades adquiridos en este anexo y se consideren nuevas perspectivas para seguir profundizando en el estudio de la presión atmosférica.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir del siguiente trabajo:

FURIÓ, C., GAVIDIA, V., GIL-PÉREZ, D. y RODES, M. J. (1995). *Materiales Didácticos. Ciencias de la Naturaleza. Primer Ciclo Secundaria Obligatoria.* Madrid: MEC.

Referencias bibliográficas en este capítulo.

BENARROCH, A. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 123-134.

FURIÓ, C. y HERNÁNDEZ, J. (1983). Ideas sobre los gases en alumnos a los 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(2), 83-91.

FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, H. (1987). Parallels between adolescents conception of gases and the history of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64 (7), 617-618.

HERNÁNDEZ, J. y FURIÓ, C. (1987). Instabilité des conceptions alternatives des élèves du primaire et du secondaire sur les gaz. *Actas de las IX Journées Internationales sur l'Education Scientifique.* Chamonix.

HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science & science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

HOLTON, G. y ROLLER, D. (1963). *Fundamentos de la Física Moderna*. Barcelona: Reverté.

LLORENS, J. A. (1988). La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, 33-48.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., ALONSO, M., CARBONELL, F., CARRASCOSA, J., DOMÉNECH, J. L., DOMÍNGUEZ, A., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (1997). *La estructura de todas las cosas. Segundo curso de ESO.* Alicante: Ed. Aguaclara.

NOVICK, S. y NUSSBAUM, J. (1981). Pupil's Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study. *Science Education*, 65(2), 187-196.

OLIVA, J. M., ARAGÓN, M. M., BONAT, M. y MATEO, J. (2003). Un estudio del papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 424-444.

SERÉ, M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science*, 8(4), 413-425.

UNESCO (1975). *Nuevo Manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.

Capítulo 14

¿Qué desafíos tiene planteados hoy la humanidad?

Daniel Gil Pérez y Amparo Vilches

Comentarios preliminares. Puede parecer extraño que dediquemos un capítulo completo, en esta tercera parte del libro donde se muestran ejemplos ilustrativos del modelo, para atender a esta problemática, habitualmente ignorada en el currículo de ciencias. Como iremos viendo y argumentando con detalle a lo largo del desarrollo del programa de actividades, existen poderosas razones para ello. De entrada, podemos recordar las numerosas ocasiones en las que en este libro hemos hecho referencia a la necesidad de que la educación científica favorezca que los estudiantes adopten actitudes responsables y puedan participar en la toma fundamentada de decisiones en torno a los problemas que afectan a la humanidad. Así, ya en el capítulo 1 señalábamos que, a lo largo de las dos últimas décadas, se han multiplicado los llamamientos de diversos organismos y conferencias internacionales para que los educadores contribuyamos a que los ciudadanos y ciudadanas adquieran una correcta percepción de los problemas y desafíos a los que se enfrenta la vida en nuestro planeta y puedan así participar en la necesaria toma de decisiones fundamentadas (UNESCO, 1987; Council of the Ministers of Education of the European Community, 1988; Naciones Unidas, 1992; Delors, 1996).

Aunque existen antecedentes importantes, como la Conferencia Internacional sobre el Medio Humano celebrada en Estocolmo en 1972, este llamamiento adquirió una gran relevancia en 1992, durante la Cumbre de la Tierra convocada por Naciones Unidas en Río de Janeiro. Con ello se pretendía hacer posible la participación ciudadana en la toma fundamentada de decisiones, así como los necesarios cambios de comportamiento para evitar que las condiciones de vida de la especie humana lleguen a degradarse de manera irreversible. En dicha conferencia, en la que participaron los gobiernos de la mayoría de países de la Tierra y miles de organizaciones no gubernamentales, se pedía explícitamente a través de su Agenda 21 (Naciones Unidas, 1992) que ***todos los educadores***, cualesquiera sea nuestro campo específico de trabajo, contribuyamos a hacer posible la participación ciudadana en la búsqueda de soluciones.

Pero, ¿por qué tienen lugar ahora estos llamamientos?, ¿por qué se insiste hoy día en que todos los educadores incorporemos la atención al estado actual y futuro del mundo como una dimensión esencial de nuestra actividad? Es necesario recordar que, hasta hace bien poco, nuestras preocupaciones e intereses se centraban en problemas locales. Hasta la segunda mitad del siglo XX, nuestro planeta parecía inmenso, prácticamente sin límites, y los efectos de las actividades humanas quedaban localmente compartimentados (Fien, 1995). Esos compartimentos, sin embargo, han empezado a disolverse durante las últimas décadas y muchos problemas (efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, lluvia ácida...) han adquirido un carácter global que ha convertido "la situación del mundo" en objeto directo de preocupación.

Informes provenientes de instituciones internacionales, como el Worldwatch Institute, reuniones y conferencias mundiales o el mismo Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo vienen proporcionando, año tras año, una visión bastante sombría, pero desgraciadamente bien fundamentada, del estado del mundo (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Naciones Unidas, 1992; Brown, Flavin y French, 1984-2004). Ésa es la razón fundamental de los llamamientos realizados a, insistimos, todos los educadores, para que incorporemos la situación del mundo a nuestra labor docente.

¿Cuál es la situación, a este respecto, más de una década después de la Conferencia de Río? ¿Hasta qué punto, tal como denunciaba Orr (1995), "seguimos educando a los jóvenes, en general, como si no hubiera una situación de emergencia planetaria? A pesar de tan dramáticos llamamientos, diversos autores han lamentado la escasa atención prestada por la educación científica a la preparación para el futuro de los estudiantes (Hicks y Holden, 1995; Travé y Pozuelos, 1999; Anderson, 1999), señalando que la mayoría de los trabajos sobre educación ambiental "se enfocan exclusivamente a los problemas locales, sin derivar hacia la globalidad" (González y de Alba, 1994). En definitiva, se sigue echando en falta una correcta "percepción colectiva del estado del mundo" (Deléage y Hémery, 1998).

Se trata, pues, de que los educadores –*cualquiera que sea nuestro campo específico de trabajo*– contribuyamos a hacer posible la participación ciudadana en la búsqueda de soluciones. Y es necesario que los docentes realicemos esa tarea superando nuestras propias percepciones "espontáneas" sobre la situación del mundo que, como se ha puesto de manifiesto en numerosos trabajos, son, en general, fragmentarias y superficiales (Gil-Pérez et al., 1999; Edwards, 2003) e incurren en la misma grave falta de comprensión de la situación del planeta que se detecta en la generalidad de los ciudadanos, incluida la mayoría de "los líderes nacionales e internacionales en los campos de la política, los negocios o la ciencia" (Mayer, 1995). La superación de estas percepciones espontáneas puede lograrse, como hemos podido constatar (Gil-Pérez et al., 2000 y 2003), si se favorece una discusión global de una cierta profundidad, apoyada en documentación contrastada. Es posible generar así actitudes más favorables de los profesores y profesoras para la incorporación de esta problemática como contribución a la educación ciudadana.

Ése es el objetivo del programa de actividades que presentamos a continuación, ensayado inicialmente con resultado muy aceptables, en cursos destinados a profesores en formación y en activo (Gil-Pérez et al., 2000 y 2003; Edwards 2003) y adaptado ahora para estudiantes de bachillerato y universidad.

Invitamos a los lectores a realizar las actividades que aquí se proponen y a valorar la pertinencia de un programa de estas características para el logro de percepciones más adecuadas de la actual situación de emergencia planetaria y de las medidas a adoptar.

INTRODUCCIÓN

Vivimos en una época de cambios acelerados y de preocupación creciente por cómo dichos cambios están afectando a la humanidad y, en general, a toda la vida en el planeta. Esa preocupación por el estado del mundo ha de tener una resonancia clara en la educación de los ciudadanos y ciudadanas y traducirse en estudios que puedan ayudar a la toma de decisiones fundamentadas.

Con ese fin, proponemos la realización de la siguiente actividad:

A.1. Enumeren los problemas y desafíos a los que, en su opinión, la humanidad ha de hacer frente para encarar el porvenir. Con esta reflexión colectiva perseguimos comenzar a construir una visión lo más completa y correcta posible de la situación existente y de las medidas a adoptar al respecto.

Comentarios A.1. Cuando se pide una reflexión individual similar a la que plantea la actividad A.1 se obtienen, en general, visiones muy fragmentarias, a menudo centradas casi exclusivamente en los problemas de contaminación ambiental y agotamiento de recursos, con olvido de otros aspectos íntimamente relacionados e igualmente relevantes (García, 1999; Gil-Pérez et al., 1999; Edwards, 2003).

Si, por el contrario, se propone esta tarea a equipos de estudiantes, cabe esperar –y así ha ocurrido en los ensayos realizados con docentes- que los resultados sean bastante más positivos, puesto que responden ya a un cierto debate que enriquece las visiones individuales. De hecho, aunque las aportaciones de cada equipo sigan proporcionando visiones reduccionistas, muy incompletas, el conjunto de las contribuciones de los distintos equipos suele cubrir buena parte de los aspectos considerados por los expertos (aunque, claro está, con formulaciones menos elaboradas). Ello permite apoyarse en dichas contribuciones para plantear el tratamiento del conjunto de problemas y desafíos a los que la humanidad ha de hacer frente. De esta forma se puede construir una concepción preliminar de la tarea que actúa como hilo conductor para el desarrollo del programa de actividades.

Tras esta reflexión inicial, proponemos la discusión en cada equipo, seguida de puestas en común, de los problemas recogidos, cotejando después las distintas aportaciones con la información de especialistas proporcionada por el profesor. Estructuramos esta tarea en varios apartados, comenzando por un análisis del creciente deterioro del planeta, sus causas y las medidas que se deben adoptar.

1. LA DEGRADACIÓN DE LA VIDA EN EL PLANETA

Quizás el problema más frecuentemente señalado, cuando se reflexiona sobre la situación del mundo, es el de la contaminación ambiental y sus secuelas.

A.2. Conviene hacer un esfuerzo por profundizar en lo que supone esta contaminación, enumerando las distintas formas que se conozcan y las consecuencias que se derivan.

Comentarios A.2. Cuando pensamos en la situación del mundo, es habitual referirnos en primer lugar a la contaminación. Numerosos estudios han resaltado la idea de que la contaminación ambiental hoy *no conoce fronteras y afecta a todo el planeta* (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Abramovitz, 1998; Brown, 1998; Flavin y Dunn, 1999; Folch, 1998). Las contribuciones de los equipos, sin embargo, se refieren indistintamente a las formas de contaminación y a sus secuelas, por lo que conviene ayudar a diferenciarlas, agrupando unas y otras. Se trata claramente de un problema global en el que es preciso profundizar, puesto que reviste innumerables formas y tiene muy graves consecuencias. Los más señalados son la contaminación:

- del aire, por procesos industriales, calefacción, transporte, etc;
- de los suelos, por almacenamiento de basuras, de sustancias sólidas peligrosas, como las radiactivas, metales pesados, plásticos no biodegradables, etc.
- de las aguas superficiales y subterráneas, por los vertidos sin depurar de líquidos contaminantes, de origen industrial, urbano, agrícola, etc.

Hay que resaltar la contaminación de suelos y aguas producida por los denominados **COP** (contaminantes orgánicos persistentes), la mayoría fertilizantes y pesticidas, que constituyen verdaderos venenos para los seres vivos y el medio ambiente. También contribuyen de forma alarmante a esta contaminación los denominados impropiamente "**accidentes**", asociados a la producción, transporte y almacenaje de materias peligrosas (radiactivas, metales pesados, petróleo...). Y decimos impropiamente porque accidente es aquello que no forma parte de la esencia o naturaleza de las cosas, pero desastres ecológicos como los provocados por el hundimiento del "Exxon Valdez", el "Erika" o el "Prestige", la ruptura de oleoductos, etc., no son accidentales, sino *catástrofes anunciadas*, estadísticamente inevitables, dadas las condiciones en que se realizan esas operaciones. Y todavía ha sido más notable la incidencia que han tenido en esta contaminación (y, absurdamente, siguen teniendo) los conflictos bélicos, que resultan auténticos atentados contra la sostenibilidad (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

Conviene, además, detenerse en otras formas de contaminación que suelen quedar, en general, relegadas como problemas menores pero que son igualmente perniciosas:

- La contaminación ***acústica***, asociada a la actividad industrial, al transporte y a una inadecuada planificación urbanística, causa de graves trastornos físicos y psíquicos.
- La contaminación "***lumínica***", que en las ciudades afecta al reposo nocturno de los seres vivos, alterando sus ciclos vitales, y que suprime el paisaje celeste, lo que constituye una contaminación "***visual***", que altera y degrada el paisaje, a la que están contribuyendo gravemente todo tipo de residuos, un entorno urbano antiestético, etc.
- La contaminación del espacio orbital, próximo a la Tierra, con la denominada "**chatarra espacial**", cuyas consecuencias pueden ser funestas para la red de comunicaciones que ha convertido nuestro planeta en una aldea global.

Entre las secuelas de la contaminación es preciso mencionar la lluvia ácida, el incremento del efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono... y, como resultado de todo ello, **el cambio climático global,** cuyas consecuencias pueden ser devastadoras, aunque hoy por hoy se hacen visibles de forma lenta.

Algunas de las secuelas de la contaminación que se mencionan conectan con la destrucción de los recursos naturales. Así, al hablar de la lluvia ácida se hace referencia a, por ejemplo, el deterioro de los bosques (causa, a su vez, de aumento del efecto invernadero). Se aprecia así la estrecha vinculación de los problemas y se da paso al tratamiento de la cuestión del agotamiento de los recursos naturales.

Asociado al problema de la contaminación se suele hacer referencia a la destrucción y agotamiento de los recursos naturales. Conviene abordar más detenidamente lo que supone esa desaparición de recursos.

A.3. Indiquen cuáles son, en su opinión, los recursos cuyo agotamiento resulta más preocupante.

Comentarios A.3. Junto con la contaminación, se trata de uno de los problemas que más preocupan, de entrada, a estudiantes y docentes. Sobre este problema se señaló en la Cumbre de la Tierra que el consumo de recursos superaba ya entonces en un 25% a las posibilidades de recuperación. Y, cinco años después, en el llamado Foro de Río de Janeiro + 5, se alertó sobre la aceleración del proceso, de forma que el consumo a escala planetaria superaba ya el 33% de las posibilidades de recuperación.

Entre los recursos naturales cuyo agotamiento preocupa en la actualidad (Brown, 1993 y 1998; Folch, 1998; Deléage y Hémery, 1998), debemos mencionar, además de las fuentes fósiles de energía y los yacimientos minerales, que son los que se suelen citar en primer lugar, la grave y acelerada pérdida de la capa fértil de los suelos, el retroceso de la masa forestal (como consecuencia de su uso como fuente de energía, incendios, actividades madereras, etc), la disminución de las pesquerías (debido a la utilización de técnicas de red de arrastre, al incremento de las capturas, etc.), o el drástico descenso de los recursos hídricos (debido a la contaminación, al creciente consumo de agua y a la explotación de acuíferos subterráneos, que ha dado lugar a su salinización).

Conviene referirse también a que el agotamiento del petróleo supone mucho más que la pérdida de un recurso energético: posiblemente, las generaciones futuras podrán disponer de otras fuentes de energía, pero el petróleo constituye una materia prima de multitud de materiales sintéticos, como fibras, plásticos, medicamentos, etc. Al quemar petróleo estamos privando a las generaciones futuras de una valiosa materia prima.

Esta problemática de contaminación ambiental y agotamiento de los recursos se ve particularmente agravada por el actual proceso de urbanización, que en pocas décadas ha multiplicado el número y tamaño de las grandes ciudades.

A.4. Expongan algunas de las razones por las que pueda resultar preocupante el crecimiento de las ciudades.

Comentarios A.4. Éste es un aspecto mucho menos tenido en cuenta, inicialmente, al reflexionar sobre los problemas del planeta. Conviene, pues, detenerse en comentar las razones por las que preocupa hoy un crecimiento urbano cuya aceleración se refleja en cifras como éstas: si en 1900 sólo un 10% de la población mundial vivía en ciudades, en el año 2000 el porcentaje era del 50% y se calcula que en el 2025 habrá 5.000 millones de personas viviendo en ciudades, y de ellas el 75% será en los países pobres.

Según los expertos, las razones principales por las que preocupa hoy el crecimiento urbano desordenado y asociado al abandono del campo y a una pérdida de calidad de vida (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; O'Meara, 1999) son:

- El problema de los residuos generados y sus efectos contaminantes en suelos y aguas.
- Las bolsas de alta contaminación atmosférica (creadas por la densidad del tráfico, calefacción, las incineradoras, etc.), acústica y lumínica, con sus secuelas de enfermedades respiratorias, estrés, etc.
- La destrucción de terrenos agrícolas fértiles.
- La especulación e imprevisión que llevan a un crecimiento desordenado (con asentamientos "ilegales" sin la infraestructura necesaria), al uso de materiales inadecuados, a la ocupación de zonas susceptibles de sufrir las consecuencias de catástrofes naturales, etc.
- El aumento de los tiempos de desplazamiento y de la energía necesaria para ello.
- La desconexión con la naturaleza.
- El enorme uso de recursos, debido sobre todo a la gran demanda de energía.
- Los problemas de marginación, violencia e inseguridad ciudadana, que crecen con el tamaño de las ciudades.

Como concluye Folch (1998), "las poblaciones demasiado pequeñas no tienen la masa crítica necesaria para ofrecer los servicios deseables, pero las demasiado grandes no los ofrecen mejores, aunque sí mucho más costosos…".

Los problemas mencionados hasta aquí –contaminación ambiental, urbanización desordenada y agotamiento de recursos naturales– están estrechamente relacionados (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988) y provocan la degradación de la vida en el planeta.

A.5. Conviene profundizar en qué consiste la degradación ambiental, indicando sus aspectos más preocupantes.

Comentarios A.5. Para comprender la gravedad de los problemas y asumir que estamos ante una situación de *emergencia planetaria* es preciso detenerse en el proceso de degradación que está teniendo lugar y que ha conducido a que diferentes instituciones realicen llamamientos a los científicos para que concentren sus esfuerzos en abordar dicha problemática. En particular, los diagnósticos de Naciones Unidas de

su Programa Medioambiental (UNEP) señalan la insostenibilidad de la situación de deterioro generalizado de los ecosistemas y la necesidad de adoptar medidas al respecto cuanto antes (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

Como ejemplos de los efectos globales que problemas como los mencionados hasta aquí están provocando en el planeta (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Folch, 1998; McGinn, 1998; Tuxill y Bright, 1998) es preciso mencionar, en primer lugar, el cambio climático, íntimamente relacionado con la subida de las temperaturas y sus consecuencias (deshielo de nieves perpetuas, subida del nivel del mar), así como la destrucción de la flora y de la fauna, con creciente desaparición de especies y de ecosistemas que amenaza la biodiversidad (Tuxill, 1999), y, en definitiva, la continuidad de la especie humana en el planeta. Más concretamente podemos referirnos a:

- La destrucción de los recursos de agua dulce y de la vida en ríos y mares.
- Deterioro de praderas y pérdidas de las tierras altas.
- Crisis de los arrecifes de coral.
- La alteración de los océanos en su capacidad de regulación atmosférica.
- La desertización: cada año, nos recuerda la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988), seis millones de hectáreas de tierra productiva se convierten en desierto estéril.

Esta degradación afecta de forma muy particular a la especie humana, generando enfermedades diversas que afectan al sistema inmunitario, al nervioso, a la piel, incremento de las catástrofes naturales (sequías, lluvias torrenciales, grandes inundaciones...) con sus secuelas de destrucción de viviendas y zonas agrícolas, hambrunas, etc.

Cabe señalar que muy pocas veces se hace referencia a otro grave aspecto de la degradación de la vida que nos afecta muy particularmente: la pérdida de la diversidad cultural. Este olvido, muy frecuente, constituye un primer ejemplo de los planteamientos reduccionistas que han caracterizado a la educación ambiental (González y de Alba, 1994; Fien, 1995; Tilbury, 1995; García, 1999). Conviene, pues, discutir esta cuestión con cierto detenimiento:

A.6. Consideren la importancia y las razones de la pérdida de diversidad cultural

Comentarios A.6. Se ha insistido en la gravedad de este hecho desde el campo de la educación (Delors, 1996) y desde la reflexión sobre los problemas de los conflictos interétnicos e interculturales (Maaluf, 1999; Giddens, 2000), que se traduce en "una estéril uniformidad de culturas, paisajes y modos de vida" (Naredo, 1997). "Eso también es una dimensión de la biodiversidad, "afirma Folch (1998), aunque" en su vertiente sociológica, que es el flanco más característico y singular de la especie humana". Y concluye: "Ni monotonía ecológica, ni limpieza étnica: soberanamente diversos". En el mismo sentido, Maaluf (1999) se pregunta: "¿Por qué habríamos de preocuparnos menos por la diversidad de culturas humanas que por la diversidad de especies animales o vegetales? Ese deseo nuestro, tan legítimo, de conservar el entorno natural, ¿no deberíamos extenderlo también al entorno humano?".

Esta pérdida de diversidad cultural está asociada, entre otros problemas, a:

- La exaltación de formas culturales (religiosas, étnicas...) contempladas como "superiores" o "verdaderas", lo que lleva a pretender su imposición sobre otras, generando conflictos sociales, políticos, movimientos de limpieza étnica...
- La oposición al pluralismo lingüístico de poblaciones autóctonas o grupos migrantes, generando fracaso escolar y enfrentamientos sociales.
- La imposición por la industria cultural, a través del control de los medios de comunicación, de patrones excluyentes y empobrecedores.
- La imposición por los sistemas educativos, a todos los niños y niñas, de los mismos moldes culturales, excluyendo, en particular, el pluralismo lingüístico (Mayor Zaragoza, 2000).
- La ignorancia, en síntesis, de la riqueza que supone la diversidad de las expresiones culturales, que debería llevar a "afirmar a la vez el derecho a la diferencia y la apertura a lo universal" (Delors, 1996) o, en otras palabras, a la defensa de la diversidad y del mestizaje cultural. Pero sin caer en un "todo vale" que acepte "expresiones culturales" que no respetan los derechos humanos, como por ejemplo, la mutilación sexual de las mujeres (Maaluf, 1999).

Todos estos problemas, que caracterizan un crecimiento insostenible, han merecido la atención de numerosos expertos, que coinciden en señalar que el futuro está seriamente amenazado y es necesario actuar. Pero, antes de analizar las causas de esa situación de degradación, es necesario detenerse en una cuestión fundamental.

La sostenibilidad como concepto básico unificador

La mayoría de trabajos de los expertos que abordan la problemática mundial coinciden en señalar como objetivo básico la necesidad de sentar las bases de un desarrollo sostenible. Conviene, pues, precisar, a este respecto, lo que puede considerarse como *desarrollo sostenible,* ya que se trata de uno de los conceptos centrales de la actual reflexión sobre la situación del mundo.

A.7. Expongan lo que, en su opinión, podemos designar como desarrollo sostenible.

Comentarios A.7. Las respuestas de los equipos suelen ser coherentes con la necesidad de la preservación de los recursos del planeta para generaciones futuras. Ésta es precisamente la idea que subyace detrás de la definición dada por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988): "El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades".

Esta definición de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo ha concitado un amplio consenso, aunque dicho consenso sea, en ocasiones, puramente verbal y algunos lleguen a confundir desarrollo sostenible con crecimiento sostenido. Se ha comenzado así a analizar críticamente el manejo del concepto de desarrollo sostenible (Luffiego y Rabadán, 2000) y a utilizar otras expresiones, como "construcción de una sociedad sostenible" (Roodman, 1999). Al margen de estas matizaciones y de los debates que ha originado, y sigue originando, su significado, la sostenibilidad continúa siendo "la idea central unificadora más necesaria en este momento de la historia de la humanidad" (Bybee, 1991).

Y aunque pueda parecer la expresión de una idea de sentido común, se trata de un concepto realmente nuevo, cuya necesidad todavía no se ha comprendido plenamente. Es significativo que las referencias a conceptos globales, como la sostenibilidad, sean escasas entre el profesorado e incluso entre los especialistas de educación ambiental (Edwards, 2003). Las dificultades radican precisamente en algo a lo que ya nos hemos referido con anterioridad: es difícil aceptar que el mundo no es tan ilimitado como creíamos hasta hace poco. La idea de la insostenibilidad del crecimiento indefinido es reciente y ha constituido una sorpresa para la mayoría; los signos de degradación eran imperceptibles hasta hace poco y se pensaba que la naturaleza podía ser supeditada a los deseos y a las necesidades de los seres humanos. Después han llegado las señales de alarma, pero todavía no han sido asumidas por la mayoría de la población. Se requiere por tanto un cambio, una auténtica revolución que rompa con una larga tradición de indiferencia, que nos haga comprender que nuestras acciones tienen consecuencias, más allá de la satisfacción de nuestras necesidades, que no podemos ignorar (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

Es importante señalar que, junto a la definición de desarrollo sostenible, en el informe de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988) se indica: "El desarrollo sostenible requiere la satisfacción de las necesidades básicas de *todos* y extiende a todos la oportunidad de satisfacer sus aspiraciones a una vida mejor". Es decir, se trata de integrar la solidaridad intrageneracional en el concepto de sostenibilidad de forma complementaria a la solidaridad intergeneracional que fue reclamada explícitamente en la Cumbre de Río, para formar una alianza mundial a favor del medio ambiente y del desarrollo sostenible para *todos los pueblos de la Tierra*. Y ello hará necesario que los educadores nos impliquemos decididamente en contribuir al surgimiento de una nueva forma de enfocar nuestra relación con el resto de la naturaleza.

Pero, ¿qué debe suponer un desarrollo realmente sostenible? Los expertos se refieren a la necesidad de *poner fin* a los problemas, a los que nos hemos referido, y a sus posibles causas, todos ellos interconectados de forma que ninguno puede entenderse, ni tratarse, sin contemplar los demás. Al estudio de las posibles causas de la degradación dedicaremos el próximo apartado.

2. CAUSAS DEL ACTUAL PROCESO DE DEGRADACIÓN Y NUEVOS PROBLEMAS

Se trata en este punto de iniciar una reflexión en torno a aquello que pueda estar en el origen de la creciente degradación en nuestro planeta, continuando con un planteamiento holístico, globalizador, que no olvide las estrechas relaciones entre ambiente físico y factores sociales, culturales, políticos, económicos, etc.

A.8. Intenten contemplar todo aquello que puede estar en el origen de la creciente degradación de nuestro planeta.

Comentarios A.8. Ésta es una problemática que demanda un planteamiento holístico, globalizador, que afecta –como se ha señalado en la Agenda 21 (Naciones Unidas, 1992)– a todos los campos del conocimiento y, por tanto, a los docentes de todas las áreas de aprendizaje (Tilbury, 1995). Es preciso para ello superar el reduccionismo que ha

limitado la atención de la educación ambiental a exclusivamente los sistemas naturales, ignorando las estrechas relaciones existentes hoy entre ambiente físico y factores sociales, culturales, políticos y económicos (Fien, 1995; Tilbury, 1995). Surge así el concepto de Environmental Education for Sustainability (EEFS) –en castellano, Educación Ambiental para la Sostenibilidad (EAPS)–, promovido por UNESCO como un enfoque holístico al estudio de los problemas ambientales y de desarrollo: "La EAPS se basa en la premisa de que los problemas ambientales y del desarrollo no son debidos exclusivamente a factores físicos y biológicos, sino que es preciso comprender el papel jugado por los elementos estéticos, sociales, económicos, políticos, históricos y culturales" (Tilbury, 1995).

Partiendo de este planteamiento holístico y teniendo en cuenta los análisis de instituciones y expertos a los que ya nos venimos refiriendo (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Brown et al., 1984-2004), una primera razón que suele darse a la situación de emergencia planetaria es el **crecimiento económico insostenible**, guiado por intereses particulares a corto plazo que actúa como si el planeta tuviera recursos ilimitados (Ramonet, 1997; Brown, 1998; Folch, 1998; García, 1999). Un crecimiento particularmente acelerado desde la segunda mitad del siglo XX, hasta el punto de que, por ejemplo, entre 1990 y 1997, fue similar al producido desde el comienzo de la civilización hasta 1950. Se trata, pues, de un crecimiento explosivo que algunos defienden como algo deseable, por haber hecho posible determinados avances sociales, pero que tiene repercusiones cada vez más negativas para el medio ambiente. Como señala Brown (1998), "del mismo modo que un cáncer que crece sin cesar destruye finalmente los sistemas que sustentan su vida al destruir a su huésped, una economía global en continua expansión destruye lentamente a su huésped: el ecosistema Tierra".

En muchos casos se responsabiliza a la ciencia y la tecnología de las graves consecuencias de este crecimiento económico, de los peligros para la salud o el medio ambiente que sufre la humanidad. Es necesario detenerse a tratar detenidamente este hecho, ya que constituye una simplificación en la que resulta fácil caer, puesto que la ciencia y la tecnología lo impregnan todo. Si enumerásemos las contribuciones de la tecnociencia al bienestar humano, la lista sería al menos igualmente larga que la de sus efectos negativos. No podemos olvidar, por ejemplo, que son científicos quienes estudian los problemas a los que se enfrenta la humanidad, advierten de los riesgos y ponen a punto soluciones. Por supuesto, no sólo científicos, ni todos los científicos. Las contribuciones positivas no excluyen las responsabilidades por sus efectos negativos: la responsabilidad de los científicos *junto con* la de economistas, empresarios, políticos, trabajadores, etc., sin olvidar la de los simples consumidores de productos nocivos (Gil-Pérez, 1998). Los problemas nos incumben a todos los ciudadanos y ciudadanas.

Para comprender, pues, la dificultad de reorientar ese "crecimiento sostenido" hacia un desarrollo sostenible y qué medidas son necesarias, debemos profundizar en las razones que motivan dicho crecimiento insostenible y comprender su vinculación, como causas y, a su vez, consecuencias del mismo.

- Las pautas de consumo de las llamadas sociedades "desarrolladas".
- La explosión demográfica.

- Los desequilibrios existentes entre distintos grupos humanos, con la imposición de intereses y valores particulares.

El papel que juegan estos aspectos y, muy en particular, la explosión demográfica, en el actual proceso de degradación del ecosistema Tierra tropieza con fuertes prejuicios. Ello hace necesario tratar estas cuestiones con cierto detenimiento.

Abordaremos, a continuación, algunos de los problemas que se asocian al proceso de degradación de la vida en la Tierra.

A.9. Indiquen algunas características de las pautas de consumo en las sociedades desarrolladas que puedan perjudicar un desarrollo sostenible.

Comentarios A.9. Hay que referirse al ***hiperconsumo,*** sobre el que tenemos la mayor responsabilidad las sociedades "desarrolladas", así como los grupos poderosos de cualquier sociedad, que sigue creciendo como si las capacidades de la Tierra fueran infinitas (Daly, 1997; Brown y Mitchell, 1998; Folch, 1998; García, 1999). Baste señalar que los veinte países más ricos del mundo han consumido en este siglo más naturaleza, es decir, más materia prima y recurso energéticos, que toda la humanidad a lo largo de su historia y prehistoria. Como afirma la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988), "estamos tomando prestado capital del medio ambiente de las futuras generaciones sin intención ni perspectiva de reembolso". Y hay que añadir que en las sociedades desarrolladas el 80% de los objetos y elementos de consumo sólo es usado una vez.

Pero no se trata, claro está, de demonizar todo consumo sin matizaciones. Es necesario disminuir el consumo innecesario, evitar el consumo de productos que tienen un gran impacto ambiental, pero, como señala la premio Nobel de Literatura sudafricana Nadine Gordimer, que ha actuado de embajadora de buena voluntad del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), "el consumo es necesario para el desarrollo humano cuando amplía la capacidad de la gente y mejora su vida, *sin menoscabo de la vida de los demás*". Y añade: "Mientras para nosotros, los consumidores descontrolados, es necesario consumir menos, para más de mil millones de las personas más pobres del mundo aumentar su consumo es cuestión de vida o muerte y un derecho básico" (Gordimer, 1999).

La discusión ha de dejar claro que el hiperconsumo viene caracterizado, entre otros aspectos, por:

- Estar estimulado por una publicidad agresiva, creadora de necesidades.
- Impulsar el "usar y desechar", ignorando las posibilidades de "reducir, reutilizar y reciclar"
- Estimular las modas efímeras y reducir la durabilidad de los productos al servicio del puro consumo.
- Promocionar productos, pese a conocer su elevado consumo energético y su alto impacto ecológico.
- Guiarse, en suma, como ya hemos señalado, por la búsqueda de beneficios a corto plazo, sin atender a las consecuencias a medio y largo plazo.

Este hiperconsumo afecta tan sólo a una quinta parte de la humanidad, pero ello no significa que el consumo mucho más moderado –y, a menudo, insuficiente para unas condiciones de vida aceptables– del resto de los seres humanos no repercuta sobre el medio ambiente. Ello nos remite a la consideración de un segundo factor: el crecimiento demográfico.

A.10. ¿En qué medida el actual crecimiento demográfico puede considerarse un problema para el logro de un desarrollo sostenible?

Comentarios A.10. Hablar de miles de millones de personas con necesidad de consumir nos remite a la ***explosión demográfica*** en un planeta de recursos limitados, como segunda causa del crecimiento económico insostenible. Obviamente, si en la Tierra viviéramos sólo unos pocos millones de personas, ninguno de los problemas a los que nos estamos refiriendo serían tan agobiantes como lo son en la actualidad. De hecho, el crecimiento demográfico representa hoy un grave problema, sobre el que se viene alertando desde hace décadas en las sucesivas Conferencias Mundiales de Población y en informes de los expertos. Sin embargo, buena parte de la ciudadanía no parece tener conciencia de este problema y se detectan, incluso, resistencias a tomarlo en consideración. De ahí que sea necesario proporcionar algunos datos acerca del mismo que permitan comprender su papel en el actual crecimiento insostenible (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Ehrlich y Ehrlich, 1994; Brown y Mitchell, 1998; Folch, 1998):

- Desde mediados del siglo XX han nacido más seres humanos que en toda la historia de la humanidad y, como señala Folch (1998), "pronto habrá tanta gente viva como muertos a lo largo de toda la historia: la mitad de todos los seres humanos que habrán llegado a existir estarán vivos".
- Aunque se ha producido un descenso en la tasa de crecimiento de la población, ésta sigue aumentando en unos 80 millones cada año, por lo que se duplicará de nuevo en pocas décadas.
- Como han explicado los expertos en sostenibilidad, en el marco del llamado Foro de Río, *la actual* población precisaría de los recursos de *tres Tierras* (!) para alcanzar un nivel de vida semejante al de los países desarrollados.

Datos como los anteriores han llevado a Ehrlich y Ehrlich (1994) a afirmar rotundamente: "No cabe duda que la explosión demográfica terminará muy pronto. Lo que no sabemos es si el fin se producirá de forma benévola, por medio de un descenso de las tasas de natalidad, o trágicamente, a través de un aumento de las tasas de mortalidad". Y añaden: "El problema demográfico es el problema más grave al que se enfrenta la humanidad, dada la enorme diferencia de tiempo que transcurre entre el inicio de un programa adecuado y el comienzo del descenso de la población (...) La superpoblación constituye un destacado factor en problemas como el hambre en África, el calentamiento del globo, la lluvia ácida, la amenaza de guerra nuclear, la crisis de los residuos y el riesgo de epidemias". Pero no se trata, señalan, de un problema exclusivo de los países en desarrollo: desde el punto de vista de la habitabilidad de la Tierra, la superpoblación en los países ricos es una amenaza más seria que el rápido crecimiento demográfico de los países pobres, puesto que es el mundo rico, ya superpoblado, el que tiene un consumo per cápita superior y que, por tanto, más contribuye al agotamiento de los recursos, a la lluvia ácida, al calentamiento del planeta, etc.

Estos planteamientos contrastan, sin embargo, con la creciente preocupación que se da en algunos países por la baja tasa de natalidad *local* en regiones como Europa. Así, un reciente informe de la ONU sobre la evolución de la población activa señalaba que se precisa un mínimo de cuatro a cinco trabajadores por pensionista para que los sistemas de protección social puedan mantenerse. Por ello se teme que, dada la baja tasa de natalidad europea, esta proporción descienda muy rápidamente, haciendo imposible el sistema de pensiones.

Se trata de un aspecto, en el que conviene detenerse, que permite comprender la complejidad de los problemas. De hecho, muchas personas que entienden la gravedad de la situación del mundo por los problemas de contaminación o el agotamiento de recursos, pierden esta visión global cuando se trata de los problemas de población, a lo que contribuye sin duda la forma en que se transmiten las noticias al respecto, que hacen que lo percibamos como algo mucho más próximo que las consecuencias de la superpoblación.

Hay que decir que un problema como éste, aunque parezca relativamente puntual, permite discutir, desde un nuevo ángulo, las consecuencias de un crecimiento indefinido de la población, visto como algo positivo a corto plazo. Pensar en el mantenimiento de una proporción de cuatro o cinco trabajadores por pensionista es un ejemplo de planteamiento centrado en el "aquí y ahora", en la búsqueda de beneficio para nosotros, hoy, que se niega a considerar las consecuencias a medio plazo, pues cabe esperar que la mayoría de esos "cuatro o cinco" deseen también llegar a ser pensionistas, lo que exigiría volver a multiplicar el número de trabajadores, etc. Ello no es sostenible ni siquiera recurriendo a la inmigración, pues también esos inmigrantes habrán de tener derecho a ser pensionistas. Tales planteamientos son un auténtico ejemplo de las famosas estafas "en pirámide" condenadas a producir una bancarrota global y una muestra de cómo los enfoques parciales, manejando datos puntuales, conducen a conclusiones erróneas.

Brown y Mitchell (1998) resumen así la cuestión: "La estabilización de la población es un paso fundamental para detener la destrucción de los recursos naturales y garantizar la satisfacción de las necesidades básicas de todas las personas". Con otras palabras: "Una sociedad sostenible es una sociedad estable demográficamente, pero la población actual está lejos de ese punto". En el mismo sentido se pronuncia la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988): "La reducción de las actuales tasas de crecimiento es absolutamente necesaria para lograr un desarrollo sostenible".

Evitar la explosión demográfica que está destruyendo las capacidades de la Tierra obliga, además, a una paternidad y maternidad responsables, responsables con nuestros hijos, con nuestros coetáneos y con las generaciones futuras. Y conviene resaltar que, en los Foros de Naciones Unidas sobre Población, nadie se refiere al problema demográfico de manera aislada, sino que se considera necesario comprender mejor la relación entre población, desarrollo, pobreza e igualdad de sexos.

Podemos, pues, afirmar que el hiperconsumo y la explosión demográfica dibujan *un marco de* ***fuertes desequilibrios***, con miles de millones de seres humanos que apenas pueden sobrevivir en los países "en desarrollo" y la marginación de amplios sectores del denominado "Primer Mundo", mientras una quinta parte de la humanidad ofrece su modelo de sobre consumo (Folch, 1998).

A.11. ¿Cuáles pueden ser las consecuencias de los fuertes desequilibrios entre distintos grupos humanos? ¿En qué medida pueden mantenerse indefinidamente?

Comentarios A.11. Estamos frente a una pobreza que coexiste con una riqueza en aumento, de forma que, según diversos estudios (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1998; Banco Mundial, 2000), el 80% del planeta no disfruta de ninguna protección social, más de 250 millones de niños y niñas sufren explotación laboral y siguen sin poder acceder a la educación básica, la mayor parte de países africanos, por ejemplo, no llega a los cincuenta años de esperanza de vida y, en los últimos veinte años, se han duplicado las diferencias entre los veinte países más ricos y los veinte más pobres del planeta. Y la situación se agrava en el caso de las mujeres: con menos oportunidades educativas y económicas que los hombres, presentan excesiva mortalidad –y tasas de supervivencia más bajas en muchas partes del mundo–, representan los dos tercios de las personas analfabetas y los tres quintos de los pobres del planeta, hasta el punto de que se habla de la feminización de la pobreza.

Numerosos análisis están llamando la atención sobre las graves consecuencias que están teniendo, y tendrán cada vez más, las desigualdades que se dan entre distintos grupos humanos (González y de Alba, 1994). Baste recordar las palabras del ex Director de la UNESCO Mayor Zaragoza, (1997): "El 18% de la humanidad posee el 80% de la riqueza, y eso no puede ser. Esta situación desembocará en grandes conflagraciones, en emigraciones masivas y en ocupación de espacios por la fuerza". En el mismo sentido, afirma Folch (1998) "La miseria –injusta y conflictiva– lleva inexorablemente a explotaciones cada vez más insensatas, en un desesperado intento de pagar intereses, de amortizar capitales y de obtener algún mínimo beneficio. Esa pobreza exasperante no puede generar más que insatisfacción y animosidad, odio y ánimo vengativo".

Hemos de comprender, pues, por nuestro propio interés, que esas desigualdades son insostenibles, al adquirir un carácter global y afectar a nuestra supervivencia, y que la prosperidad de un reducido número de países no puede durar si se enfrenta a la extrema pobreza de la mayoría.

Los actuales desequilibrios existentes entre distintos grupos humanos, con la imposición de intereses y valores particulares, se traducen en todo tipo de conflictos que conviene analizar.

A.12. Señalen los distintos tipos de conflictos que puede originar la imposición de intereses y valores particulares.

Comentarios A.12. Como en el caso del crecimiento demográfico, la atención a estos desequilibrios ha sido muy insuficiente en la educación ambiental y existe incluso un rechazo a considerar esta dimensión (García, 1999), vista peyorativamente como algo político. Sin embargo, numerosos análisis están llamando la atención sobre las graves consecuencias que están teniendo, y tendrán cada vez más, los actuales desequilibrios (González y de Alba, 1994). De hecho, estos fuertes desequilibrios existentes entre distintos grupos humanos, con la imposición de intereses y valores particulares, se traducen en todo tipo de ***conflictos y violencias*** que muy a menudo incrementan esas desigualdades, provocando más miseria, más dolor y más deterioro del medio. El mantenimiento de una situación de extrema pobreza en la

que viven millones de seres humanos es ya, en sí mismo, un acto de violencia, pero conviene recordar, aunque sea someramente, otras formas de violencia asociadas.

- El riesgo de *retrocesos democráticos*, con un desafecto creciente de los ciudadanos por los asuntos públicos, y las *dictaduras,* con violaciones sistemáticas de derechos humanos.
- Las violencias de clase, *interétnicas e interculturales*, que se traducen en auténticas fracturas sociales.
- *Las guerras, conflictos bélicos,* con sus implicaciones económicas y sus secuelas, para personas y el medio ambiente, de carreras armamentistas y destrucción, tráfico y mercado negro de armas…
- *El terrorismo,* en todas sus manifestaciones, con la imposición de "lo nuestro" contra "lo de los otros".
- *Las actividades de las mafias* (tráfico de drogas, de seres humanos relacionado con el comercio sexual, juego, mercado negro de divisas, blanqueo de dinero, con su presencia creciente en todo el planeta, contribuyendo decisivamente a la violencia ciudadana) y de *empresas transnacionales* que imponen sus intereses particulares escapando a todo control democrático,
- *Las migraciones masivas* (refugiados por motivos políticos o bélicos; por motivos económicos, es decir, por hambre, miseria, marginación…; por causas ambientales como fenómenos nuevos asociados a la degradación: desplazamientos poblacionales relacionados con el agotamiento de recursos, las sequías, los desastres ecológicos…), con los dramas que todas estas migraciones suponen y los rechazos que producen: actitudes racistas y xenófobas, legislaciones cada vez más restrictivas, etc.

Conflictos todos ellos vinculados a las enormes desigualdades que existen en el planeta (Delors, 1996; Maaluf, 1999; Renner, 1999; Mayor Zaragoza, 2000; Vilches y Gil-Pérez, 2003).

Todo lo visto hasta aquí dibuja un negro panorama que ha llevado a algunos a referirse a "un mundo sin rumbo" (Ramonet, 1997) o, peor, con un rumbo definido "que avanza hacia un naufragio posiblemente lento, pero difícilmente reversible" (Naredo, 1997) que hace verosímil una "sexta extinción*", ya en marcha,* que acabaría con la especie humana (Lewin, 1997).

En este apartado hemos tratado de aproximarnos a las causas que están en la raíz de los problemas que afectan a la humanidad y que constituyen, a su vez, problemas estrechamente relacionados. Todo ello configura una visión holística de la situación del mundo.

Pero no basta, por otra parte, con diagnosticar los problemas, con saber a qué debe ponerse fin. Ello nos podría hacer caer en el deprimente e ineficaz discurso de "cualquier tiempo futuro será peor" (Folch, 1998). En ese sentido, Hicks y Holden (1995) afirman: "Estudiar exclusivamente los problemas provoca, en el mejor de los casos, indignación, y en el peor, desesperanza". Es preciso por ello impulsar a explorar futuros alternativos y a participar en acciones que favorezcan dichas alternativas (Tilbury, 1995; Mayer, 1998). Nos referiremos a ello en el siguiente apartado.

3. ¿QUÉ HACER PARA AVANZAR HACIA UNA SOCIEDAD SOSTENIBLE?

Evitar lo que algunos han denominado "la sexta extinción" *ya en marcha* (Lewin, 1997) exige poner fin a todo lo que hemos criticado hasta aquí: poner fin a un desarrollo guiado por el beneficio a corto plazo; poner fin a la explosión demográfica; poner fin al hiperconsumo de las sociedades desarrolladas y a los fuertes desequilibrios existentes entre distintos grupos humanos.

A.13. ¿Qué tipo de medidas cabría adoptar para poner fin a los problemas considerados y lograr un desarrollo sostenible? Procedan a una primera enumeración de las mismas que permita pasar a su discusión posterior.

Comentarios A.13. El planteamiento holístico debe estar presente también al pensar en las posibles soluciones: ninguna acción aislada puede ser efectiva, precisamos un entramado de medidas que se apoyen mutuamente. Como señala la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (1988), "el reto fundamental proviene de su carácter sistémico". Ninguna solución por sí sola bastaría para resolver los problemas, se requiere, pues, interconectar toda una serie de medidas que, según los expertos, pueden englobarse, básicamente, en los siguientes tres grupos:

- Medidas de desarrollo tecnológico.
- Medidas educativas para la transformación de actitudes y comportamientos.
- Medidas políticas (legislativas, judiciales, etc.) en los distintos niveles (local, regional...) y, en particular, medidas de integración o globalización planetaria.

Discutiremos aquí mínimamente cada uno de estos tipos de medidas, remitiéndonos a un texto más amplio (Vilches y Gil-Pérez, 2003) para su tratamiento más detenido.

A.14. Una de las medidas a las que, lógicamente, se hace referencia para el logro de un desarrollo sostenible es la introducción de nuevas tecnologías más adecuadas. ¿Cuáles habrían de ser las características de dichas tecnologías?

Comentarios A.14. En *Nuestro Futuro Común* (CMMAD, 1988) se pone énfasis en la necesidad de reorientar la tecnología y controlar los riesgos, pero dentro de unas estrategias más amplias, para que los países puedan seguir el camino de la sostenibilidad, relativas también a medidas políticas y educativas. ¿Qué reorientación de la tecnología se precisa? En esa dirección, numerosos autores señalan la necesidad de dirigir los esfuerzos de la investigación e innovación hacia el logro de *tecnologías favorecedoras de un desarrollo sostenible* (Gore, 1992; Daly, 1997; Flavin y Dunn, 1999), incluyendo desde la búsqueda de nuevas fuentes de energía, desarrollo de energías renovables, al incremento de la eficacia en la obtención de alimentos con el uso de tecnologías agrarias sostenibles, pasando por la prevención de enfermedades y catástrofes, tecnologías para controlar y reducir la contaminación ambiental o para la disminución y el tratamiento de residuos.

Pero es preciso analizar con cuidado esas medidas tecnológicas para que las aparentes soluciones no generen problemas más graves, como ha sucedido ya tantas veces. Pensemos, por ejemplo, en la revolución agrícola que, tras la Segunda Guerra Mundial, incrementó notablemente la producción gracias a los fertilizantes y

pesticidas químicos como el DDT, satisfaciendo así las necesidades de alimentos de una población mundial que experimentaba un rápido crecimiento. Pero sus efectos perniciosos (cáncer, malformaciones congénitas...) fueron denunciados (Carson, 1980), y el DDT y otros "contaminantes orgánicos persistentes" (COP) han tenido que ser finalmente prohibidos como venenos muy peligrosos, aunque, desgraciadamente, todavía no en todos los países.

Conviene reflexionar acerca de las características que deben poseer esas medidas tecnológicas. Según Daly (1997), es preciso que cumplan lo que denomina "principios obvios para el desarrollo sostenible":

- Las tasas de explotación de los recursos naturales renovables no deben superar a las de regeneración (o, para el caso de recursos no renovables, de creación de sustitutos renovables).
- Las tasas de emisión de residuos deben ser inferiores a las capacidades de asimilación de los ecosistemas a los que se emiten esos residuos.

Además, como señala el mismo Daly, "actualmente estamos entrando en una era de *economía en un mundo lleno*, en la que el capital natural será cada vez más el factor limitativo" (Daly, 1997). Ello impone una tercera característica a las tecnologías sostenibles:

- "En lo que se refiere a la tecnología, la norma asociada al desarrollo sostenible consistiría en dar prioridad a tecnologías que aumenten la productividad de los recursos (...) más que incrementar la cantidad extraída de recursos (...). Esto significa, por ejemplo, bombillas más eficientes de preferencia a más centrales eléctricas".

Por nuestra parte (Vilches y Gil-Pérez, 2003), consideramos necesario añadir otros criterios, como son:

- Dar prioridad a tecnologías orientadas a la satisfacción de necesidades básicas y que contribuyan a la reducción de las desigualdades.
- Realizar un estudio detenido de las repercusiones que puede tener un proyecto tecnológico, para evitar la aplicación apresurada de una tecnología, cuando aún no se han investigado suficientemente sus posibles repercusiones. Ello constituye la base del *principio de precaución* (también conocido como de *cautela o de prudencia).*

Cabe señalar que este principio de precaución tropieza, a menudo, con intereses particulares a corto plazo. Ello viene a cuestionar la idea simplista de que las soluciones a los problemas con que se enfrenta hoy la humanidad dependen, *fundamentalmente,* de tecnologías más avanzadas, olvidando que las opciones, los dilemas, a menudo son fundamentalmente éticos (Aikenhead, 1985; Solbes y Vilches, 1997; Martínez, 1997; García, 1999). Se comprende así la necesidad de otras medidas, políticas y educativas, a las que nos referiremos a continuación, remitiéndonos a otros trabajos (Vilches y Gil-Pérez, 2003) para la consideración más detallada de algunas tecnologías susceptibles de contribuir a resolver los problemas a los que se enfrenta hoy la humanidad y de favorecer un desarrollo sostenible.

A.15. ¿Qué planteamientos educativos se precisarían para contribuir a un desarrollo sostenible?

Comentarios A.15. En el inicio del prólogo *La educación o la utopía necesaria,* del Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la Educación para el Siglo XXI (Delors, 1996), se señala: "Frente a los numerosos desafíos del porvenir, la educación constituye un instrumento indispensable para que la humanidad pueda progresar hacia los ideales de paz, libertad y justicia social. (...) como una vía, ciertamente entre otras, pero más que otras, al servicio de un desarrollo humano más armonioso, más genuino, para hacer retroceder la pobreza, la exclusión, las incomprensiones, las opresiones, las guerras, etc.".

La importancia dada por los expertos en sostenibilidad al papel de la educación (Naciones Unidas, 1992; Delors, 1996) recomendaría, pues, dedicar a este apartado una extensión que sobrepasa con mucho las dimensiones que podemos dar a este programa de actividades. En Vilches y Gil-Pérez (1993) se dedica un amplio capítulo a discutir estas medidas, que aquí presentaremos muy sucintamente.

Teniendo en cuenta que la educación ha de jugar un papel fundamental para la adquisición de comportamientos propios de una sociedad sostenible, se propone, en esencia, impulsar una *educación solidaria* –superadora de la tendencia a orientar el comportamiento en función de intereses a corto plazo, o de la simple costumbre– que contribuya a una correcta percepción del estado del mundo promoviendo análisis globalizadores, *genere actitudes y comportamientos responsables* y prepare para la acción ciudadana y la toma de decisiones fundamentadas (Aikenhead, 1985) dirigidas al logro de un desarrollo culturalmente plural y físicamente sostenible (Delors, 1996; Cortina et al., 1998).

Es necesario superar comportamientos que constituyen en realidad hábitos debidos a un clima social, a una educación reiterada, apoyada por una publicidad enormemente eficaz. De ahí que se requieran acciones educativas constantes, no puntuales, para promover comportamientos propios de una sociedad sostenible.

Como propone Folch (1998), "tal vez convenga que la escuela comience por la atención sobre el fulgurante proceso de transformación física y social ocurrido en el siglo XX". La educación ha de tratar con detenimiento estas cuestiones, ha de favorecer análisis realmente globalizadores y preparar a los futuros ciudadanos y ciudadanas para la toma fundamentada y responsable de decisiones. Cuestiones como ¿qué política energética conviene impulsar?, ¿qué papel damos a la ingeniería genética en la industria alimentaria y qué controles introducimos?, etc., exigen tomas de decisiones que no deben escamotearse a los ciudadanos.

Se precisa una educación que ayude a contemplar los problemas ambientales y del desarrollo en su globalidad (Tilbury, 1995; Luque, 1999), teniendo en cuenta las repercusiones a corto, medio y largo plazo, tanto para una colectividad dada como para el conjunto de la humanidad y nuestro planeta; a comprender que no es sostenible un éxito que exija el fracaso de otros; a transformar, en definitiva, la interdependencia planetaria y la mundialización en un proyecto plural, democrático y solidario (Delors, 1996). Un proyecto que oriente la actividad personal y colectiva en una perspectiva sostenible, que respete y potencie la riqueza que representa tanto la diversidad biológica como la cultural y favorezca su disfrute.

Merece la pena detenerse en especificar los cambios de actitudes y comportamientos que la educación debería promover.

A.16. ¿Qué es lo que cada uno de nosotros puede hacer "para salvar la Tierra"? ¿Qué efectividad pueden tener los comportamientos individuales, los pequeños cambios en nuestras costumbres, en nuestros estilos de vida, que la educación puede favorecer?

Comentarios A.16. Las llamadas a la responsabilidad individual se multiplican hoy, incluyendo pormenorizadas relaciones de posibles acciones concretas en los más diversos campos, desde la alimentación al transporte, pasando por la limpieza, la calefacción e iluminación o la planificación familiar (Button and Friends of the Earth, 1990; Silver y Vallely, 1998; García Rodeja, 1999; Vilches y Gil-Pérez, 2003).

En ocasiones surgen, dudas acerca de la efectividad que pueden tener los comportamientos individuales, los pequeños cambios en nuestras costumbres, en nuestros estilos de vida, que la educación puede favorecer. Los problemas de agotamiento de los recursos energéticos y de degradación del medio, se afirma por ejemplo, son debidos, fundamentalmente, a las grandes industrias; lo que cada uno de nosotros puede hacer al respecto es, comparativamente, insignificante. Pero resulta fácil mostrar (bastan cálculos muy sencillos) que si bien esos "pequeños cambios" suponen, en verdad, un ahorro energético per cápita muy pequeño, al multiplicarlo por los muchos millones de personas que en el mundo pueden realizar dicho ahorro, éste llega a representar cantidades ingentes de energía, con su consiguiente reducción de la contaminación ambiental. De hecho, el conjunto de los automóviles privados lanzan más dióxido de carbono a la atmósfera que toda la industria.

El futuro va a depender en gran medida del modelo de vida que sigamos y, aunque éste a menudo nos lo tratan de imponer con consignas de aumento de consumo para activar la producción y crear empleo, no hay que menospreciar la capacidad que tenemos los consumidores para modificarlo (Comín y Font, 1999). En las soluciones, como en la generación de los problemas, tendrá enorme importancia la suma de las pequeñas acciones individuales que llevamos a cabo todos, por triviales que nos parezcan. La propia Agenda 21 indica que la participación de la sociedad civil es un elemento imprescindible para avanzar hacia la sostenibilidad. Aunque no se debe ocultar la dificultad de desarrollo de las ideas antes mencionadas, ya que comportan cambios profundos en la economía mundial y en las formas de vida personales. Por ejemplo, el descenso del consumo provoca recesión y caída del empleo. ¿Cómo eludir estos efectos indeseados? ¿Qué cambiar del sistema y cómo se podría hacer, al menos teóricamente, para avanzar hacia una sociedad sostenible?

Es preciso añadir, por otra parte, que las acciones en las que podemos implicarnos no tienen por qué limitarse al ámbito "privado": han de extenderse al campo profesional (que puede exigir la toma de decisiones) y al sociopolítico, oponiéndose a los comportamientos depredadores o contaminantes (como, por ejemplo, está haciendo con éxito un número creciente de vecinos que denuncian casos flagrantes de contaminación acústica) o apoyando, a través de ONG, partidos políticos, etc., aquello que contribuya a la paz, la solidaridad y la defensa del medio.

Y es preciso, también, que las acciones individuales y colectivas eviten los planteamientos parciales, centrados exclusivamente en cuestiones ambientales, y se extiendan a otros aspectos íntimamente relacionados, como el de los graves desequilibrios

existentes entre distintos grupos humanos o los conflictos étnicos y culturales: campaña pro cesión del 0,7% del presupuesto, institucional *y personal*, para ayuda a los países en desarrollo, defensa de la pluralidad cultural, fomento de la conversión de la deuda en inversiones en beneficio de la educación, igualdad de acceso de la mujer a la educación, erradicación del analfabetismo, extendiendo la educación a toda la población, etc.

Se trata, en definitiva, de aprender a enfocar los problemas locales en la perspectiva general de la situación del mundo y de contribuir a la adopción de las medidas pertinentes, como está ocurriendo ya, por ejemplo, con el movimiento de "ciudades por la sostenibilidad". Como afirman González y de Alba (1994), "el lema de los ecologistas alemanes 'pensar globalmente, pero actuar localmente' a lo largo del tiempo ha mostrado su validez, pero también su limitación: ahora se sabe que también hay que actuar globalmente". Ello nos remite a un tercer tipo de medidas.

A.17. Discutan de qué modo un proceso de globalización planetaria puede afectar al logro de un desarrollo sostenible.

Comentarios A.17. Según lo que venimos señalando hasta aquí, se considera absolutamente urgente una integración planetaria capaz de impulsar y controlar las necesarias medidas en defensa del medio y de las personas, antes de que el proceso de degradación sea irreversible. No es posible abordar localmente problemas que afectan a todo el planeta; sin embargo, hoy la globalización tiene muy mala prensa y son muchos los que denuncian las consecuencias del vertiginoso proceso de globalización, financiera. Pero el problema, como señalan diversos autores, no está en la globalización sino en su ausencia. ¿Cómo se puede considerar globalizador un proceso que aumenta los desequilibrios? No pueden ser considerados mundialistas quienes buscan intereses particulares, en general a corto plazo, aplicando políticas que perjudican a la mayoría de la población, ahora y en el futuro. Este proceso tiene muy poco de global en aspectos que son esenciales para la supervivencia de la vida en nuestro planeta. En ese sentido, Giddens (2000) afirma: "En muchos países poco desarrollados las normas de seguridad y medio ambiente son escasas o prácticamente inexistentes. Algunas empresas transnacionales venden mercancías que son restringidas o prohibidas en los países industriales…".

La expresión "globalidad responsable" fue el lema del Foro de Davos de 1999, poniendo de manifiesto la ausencia de control o la irresponsabilidad con que se estaba desarrollando el proceso de globalización. Frente a este foro, predominantemente económico (Foro Económico Mundial), surgió el Foro Social Mundial en Porto Alegre, a favor de una mundialización de nuevo tipo, de una mundialización real que defiende la existencia de instituciones democráticas a nivel planetario, capaces de gestionar los bienes públicos globales y de evitar su destrucción por quienes sólo velan por sus intereses a corto plazo.

Empieza a comprenderse, pues, la urgente necesidad de una integración política planetaria, plenamente democrática, capaz de impulsar y controlar las necesarias medidas en defensa del medio y de las personas, de la biodiversidad y de la diversidad cultural, antes de que el proceso de degradación sea irreversible. Se trata de impulsar un nuevo orden mundial, basado en la cooperación y en la solidaridad, con instituciones capaces de evitar la imposición de intereses particulares que resulten nocivos para la población actual o para las generaciones futuras (Renner, 1993 y

1999; Folch, 1998; Jáuregui, Egea y De la Puerta, 1998; Giddens, 2000). Es necesario, pues, profundizar la democracia, extendiéndola a escala mundial, apoyada en una efectiva sociedad civil capaz de detectar los problemas y proponer alternativas.

Y existen numerosas razones para impulsar instancias mundiales. En primer lugar, es necesario el fomento de la paz, evitar los conflictos bélicos y sus terribles consecuencias, lo que exige unas Naciones Unidas fuertes, capaces de aplicar acuerdos democráticamente adoptados. Se necesita un nuevo orden mundial que imponga el desarme nuclear y otras armas de destrucción masiva con capacidad para provocar desastres irreversibles. La CMMAD ofrece en *Nuestro Futuro Común* (1988) ejemplos de las ventajas de la reducción de los gastos militares, por ejemplo, el Decreto de Naciones Unidas para el Agua y Saneamiento habría costado 30 .000 millones de dólares al año, lo que equivale a diez días de gastos con fines militares. Y ese fomento de la paz requiere también instancias jurídicas supranacionales, en un marco democrático mundial, para una lucha eficaz ante el terrorismo mundial, frente al tráfico de personas, armas, drogas, capitales, para lograr la seguridad de todos.

Una seguridad que requiere poner fin a las enormes desigualdades, a la pobreza, como señala Mayor Zaragoza (2000) en *Un mundo Nuevo*: "En su acepción más amplia, la seguridad supone la posibilidad para las poblaciones de acceder a un desarrollo económico y social duradero; exige la erradicación de la pobreza a escala planetaria". Se necesita, pues, incrementar la cooperación y el desarrollo, introduciendo cambios profundos en las relaciones internacionales, que se vienen reclamando desde hace décadas. Una vez más, se pueden percibir las estrechas vinculaciones entre las posibles soluciones: combatir la pobreza favorecería la seguridad de todos, reduciendo los conflictos, que, a su vez, liberaría recursos para favorecer el desarrollo, para transferir a los países en desarrollo tecnologías que mejoren el medio ambiente, que incrementen la eficiencia energética, el tratamiento de enfermedades, etc.

Una integración política a escala mundial plenamente democrática constituye, pues, un requisito esencial para hacer frente a la degradación, tanto física como cultural, de la vida en nuestro planeta. Dicha integración reforzaría así el funcionamiento de la democracia y contribuiría a un desarrollo sostenible de los pueblos que no se limitaría, como suele plantearse, a lo puramente económico, sino que incluiría, de forma destacada, el desarrollo cultural. Ahora bien, ¿cómo avanzar en esta línea?, ¿cómo compaginar integración y autonomía democrática?, ¿cómo superar los nacionalismos excluyentes y las formas de poder no democráticas? Se trata, sin duda, de cuestiones que no admiten respuestas simplistas y que es preciso plantear con rigor. Pero debemos insistir en que no hay nada de utópico en estas propuestas de actuación: hoy lo utópico es pensar que podemos seguir guiándonos por intereses particulares sin que, en un plazo no muy largo, todos paguemos las consecuencias. Quizás ese comportamiento fuera válido, al margen de cualquier consideración ética, cuando el mundo contaba con tan pocos seres humanos que resultaba inmenso, prácticamente sin límites. Pero hoy eso sólo puede conducir a una masiva autodestrucción, a la ya anunciada sexta extinción (Lewin, 1997). Dicho con otras palabras: un egoísmo inteligente, al margen de cualquier consideración ética, nos obliga a proteger el ambiente.

El avance hacia estructuras globales de deliberación y decisión, con capacidad para hacer efectivas sus resoluciones, se enfrenta a serias dificultades, pero la necesidad,

como hemos venido señalando, es enorme, ya que nos va en ello la supervivencia, la supervivencia de todas las personas. Y esto no es una cuestión de buena voluntad o una aspiración utópica. Se trata de algo a lo que todos tenemos derecho. Defender nuestra supervivencia como especie se convierte así en la defensa de los derechos de todas las personas.

4. DESARROLLO SOSTENIBLE Y DERECHOS HUMANOS

Las medidas que acabamos de discutir aparecen hoy asociadas a la necesidad de universalización de los derechos humanos. Dedicaremos este apartado a clarificar dicha relación, comenzando por plantearnos cuáles son esos derechos universales.

A.18. Enumeren cuáles habrían de ser, en su opinión, los derechos humanos fundamentales y su contribución al logro de un desarrollo sostenible.

Comentarios A.18. Esta actividad posibilita una primera aproximación a las percepciones de los estudiantes acerca de cuáles son para ellos los derechos humanos fundamentales. Cabe señalar que, de entrada, los estudiantes manifiestan una cierta extrañeza ante la idea de vincular desarrollo sostenible y derechos humanos. Y su propia idea de qué entender por derechos humanos resulta también bastante pobre, evidenciando una falta de reflexión al respecto. Pero al plantear la cuestión no como un recordatorio, sino como una propuesta a hacer ("cuáles *habrían de ser*"), su propia discusión les hace superar el reduccionismo inicial y mencionar no sólo derechos políticos, sino también económicos, culturales y sociales e incluso, cuando se insiste en preguntar "¿y a qué más habríamos de tener derecho todos los seres humanos?", se llegan a mencionar cosas como el "derecho a un ambiente sano". Ello da pie a recordar brevemente la historia de estos derechos humanos –un concepto que ha ido ampliándose hasta contemplar tres "generaciones" de derechos (Vercher, 1998)–, al tiempo que se analiza su papel para el logro de un desarrollo sostenible.

Podemos referirnos, en primer lugar, a los *derechos democráticos, civiles y políticos (de opinión, reunión, asociación…) para todos, sin limitaciones de origen étnico o de género*, que constituyen una condición sine qua non para la participación ciudadana en la toma de decisiones que afectan al presente y futuro de la sociedad (Folch, 1998). Se conocen hoy como "***derechos humanos de primera generación***", por ser los primeros que fueron reivindicados y conseguidos (no sin conflictos) en un número creciente de países. No debe olvidarse, a este respecto, que los "Droits de l'Homme" de la Revolución Francesa, por citar un ejemplo ilustre, excluían explícitamente a las mujeres, que sólo consiguieron el derecho al voto en Francia tras la Segunda Guerra Mundial. Ni tampoco debemos olvidar que en muchos lugares de la Tierra esos derechos básicos son sistemáticamente conculcados cada día.

Amartya Sen, en su libro *Desarrollo y Libertad* (1999), concibe el desarrollo de los pueblos como un proceso de expansión de las libertades reales de las que disfrutan los individuos, alejándose de una visión que asocia el desarrollo con el simple crecimiento del PIB, las rentas personales, la industrialización o los avances tecnológicos. La expansión de las libertades es, pues, tanto un fin principal del desarrollo como su medio principal y constituye un pilar fundamental para abordar la problemática de la sostenibilidad. Como señala Sen (1999), "el desarrollo de la democracia es, sin duda,

una aportación notable del siglo XX. Pero su aceptación como norma se ha extendido mucho más que su ejercicio en la práctica (...) Hemos recorrido la mitad del camino, pero el nuevo siglo deberá completar la tarea". Si queremos avanzar hacia la sostenibilidad de las sociedades, hacia el logro de una democracia planetaria, será necesario reconocer y garantizar otros derechos, además de los civiles y políticos, que aunque constituyen un requisito imprescindible son insuficientes.

Nos referimos a la necesidad de contemplar también la *universalización de los derechos económicos, sociales y culturales,* o ***"derechos humanos de segunda generación***" (Vercher, 1998), reconocidos bastante después de los derechos políticos. Hubo que esperar a la Declaración Universal de 1948 para verlos recogidos y mucho más para que se empezara a prestarles una atención efectiva. Entre estos derechos podemos destacar:

- Derecho universal a un trabajo satisfactorio, a un salario justo, superando las situaciones de precariedad e inseguridad, próximas a la esclavitud, a las que se ven sometidos centenares de millones de seres humanos (de los que más de 250 millones son niños).
- Derecho a una vivienda adecuada en un entorno digno, es decir, en poblaciones de dimensiones humanas, levantadas en lugares idóneos –con una adecuada planificación que evite la destrucción de terrenos productivos, las barreras arquitectónicas, etc.– y que se constituyan en foros de participación y creatividad.
- Derecho universal a una alimentación adecuada, tanto desde un punto de vista cuantitativo (desnutrición de miles de millones de personas) como cualitativo (dietas desequilibradas), lo que dirige la atención a nuevas tecnologías de producción agrícola.
- Derecho universal a la salud. Ello exige recursos e investigaciones para luchar contra las enfermedades infecciosas que hacen estragos en amplios sectores de la población del Tercer Mundo (cólera, malaria...) y contra las nuevas enfermedades "industriales" (tumores, depresiones...) y "conductuales", como el Sida. Es preciso igualmente una educación que promueva hábitos saludables, el reconocimiento del derecho al descanso, el respeto y solidaridad con las minorías que presentan algún tipo de dificultad, etc.
- Derecho a la planificación familiar y al libre disfrute de la sexualidad, que no conculque la libertad de otras personas, sin las barreras religiosas y culturales que, por ejemplo, condenan a millones de mujeres al sometimiento.
- Derecho a una educación de calidad, espaciada a lo largo de toda la vida, sin limitaciones de origen étnico, de género, etc., que genere actitudes responsables y haga posible la participación en la toma fundamentada de decisiones.
- Derecho a la cultura, en su más amplio sentido, como eje vertebrador de un desarrollo personal y colectivo estimulante y enriquecedor.
- Reconocimiento del derecho a investigar todo tipo de problemas (origen de la vida, manipulación genética...) sin limitaciones ideológicas, pero tomando en consideración sus implicaciones sociales y sobre el medio y ejerciendo un control social que evite la aplicación apresurada –guiada, una vez más, por intereses a corto plazo– de tecnologías insuficientemente contrastadas, que pueden afectar, como tantas veces ha ocurrido, a la sostenibilidad.

El conjunto de estos derechos aparece como un requisito y, a la vez, como un objetivo del desarrollo sostenible. ¿Se puede exigir a alguien, por ejemplo, que no contribuya a esquilmar un banco de pesca si ése es su único recurso para alimentar su familia? No es concebible tampoco, por citar otro ejemplo, la interrupción de la explosión demográfica sin el reconocimiento del derecho a la planificación familiar y al libre disfrute de la sexualidad. Y ello remite, a su vez, al derecho a la educación. Como afirma Mayor Zaragoza (1997), una educación generalizada "es lo único que permitiría reducir, fuera cual fuera el contexto religioso o ideológico, el incremento de población".

En definitiva, la preservación sostenible de nuestro planeta exige la satisfacción de las necesidades básicas de todos sus habitantes. Pero esta preservación aparece hoy como un derecho en sí mismo, como parte de los llamados ***derechos humanos de tercera generación,*** que se califican como *derechos de solidaridad* "porque tienden a preservar la integridad del ente colectivo" (Vercher, 1998) y que incluyen, de forma destacada, el derecho a un ambiente sano, a la paz y al desarrollo para todos los pueblos y para las generaciones futuras, integrando en este último la dimensión cultural que supone el derecho al patrimonio común de la humanidad. Se trata, pues, de derechos que incorporan explícitamente el objetivo de un desarrollo sostenible:

- *El derecho de todos los seres humanos a un ambiente adecuado para su salud y bienestar*. Como afirma Vercher, la incorporación del derecho al medio ambiente como un derecho humano, esencialmente universal, responde a un hecho incuestionable: "De continuar degradándose el medio ambiente al paso que va degradándose en la actualidad, llegará un momento en que su mantenimiento constituirá la más elemental cuestión de supervivencia en cualquier lugar y para todo el mundo (...) El problema radica en que cuanto más tarde en reconocerse esa situación, mayor nivel de sacrificio habrá que afrontar y mayores dificultades habrá que superar para lograr una adecuada recuperación".
- *El derecho a la paz*, lo que supone impedir que los intereses particulares (económicos, culturales...) se impongan por la fuerza a los demás. Recordemos las consecuencias de los conflictos bélicos y de la simple preparación de los mismos, tengan o no tengan lugar. El derecho a la paz es, pues, un derecho que *sólo* puede plantearse a escala universal, ya que únicamente una *autoridad democrática universal* podría garantizar la paz y salir al paso de los intentos de transgredir este derecho.
- *El derecho a un desarrollo sostenible*, tanto económico como cultural de todos los pueblos. Ello conlleva, por una parte, el cuestionamiento de los actuales desequilibrios económicos, entre países y poblaciones, así como nuevos modelos y estructuras económicas adecuadas para el logro de la sostenibilidad, y, por otra, la defensa de la diversidad cultural, como patrimonio de toda la humanidad, y del mestizaje intercultural, contra todo tipo de racismo y de barreras étnicas o sociales.

Vercher (1998) insiste en que estos derechos de tercera generación "sólo pueden ser llevados a cabo a través del esfuerzo concertado de todos los actores de la escena social", *incluida la comunidad internacional.* Se puede comprender, así, la vinculación que hemos establecido entre desarrollo sostenible y universalización de los derechos humanos. Y se comprende asimismo la necesidad de avanzar hacia una verdadera mundialización, con instituciones democráticas, también a nivel planetario, capaces de garantizar este conjunto de derechos.

Conjunto de derechos que debemos contemplar como una propuesta ética, como un proyecto por el que luchar, que debe ir guiando el camino para una convivencia solidaria y responsable y en la que encontrar los principios a tener en cuenta para la toma de decisiones.

5. RECAPITULACIÓN Y PERSPECTIVAS

Hemos pasado revista a un conjunto de problemas con los que se enfrenta hoy la humanidad y que amenazan la continuidad de la vida en nuestro planeta, así como a algunas vías de solución. Proponemos ahora, para recapitular, algunas actividades de globalización, como la que se presenta a título de ejemplo.

A.19. Elaboren un esquema o "mapa semántico" que proporcione una visión global de los aspectos tratados a lo largo de este capítulo y que muestre la estrecha vinculación de los problemas y de las medidas propuestas para lograr un desarrollo sostenible. (Para la discusión de los documentos elaborados está prevista una sesión "póster").

Comentarios A.19. Comenzamos este trabajo justificando la importancia y la necesidad de que la educación científica contribuya a favorecer la adopción de actitudes responsables, en particular frente a los problemas globales que afectan a la humanidad.

Problemas que, dada su gravedad, han impulsado numerosos llamamientos en las dos últimas décadas, de instituciones y organismos mundiales, a todos los educadores para que contribuyamos a que se adquiera una visión adecuada de los mismos y de las soluciones que sería necesario adoptar.

Son numerosas las ocasiones, a lo largo del currículo de ciencias, en las que es necesario hacer frente a esta problemática, como hemos argumentado en diferentes capítulos del libro, para un mejor aprendizaje y preparación de la ciudadanía para la toma de decisiones frente a los problemas del mundo. Pero, como hemos tratado de mostrar, cualquier intento de hacer frente a los problemas de nuestra supervivencia deberá contemplar el conjunto de problemas y desafíos, estrechamente relacionados, que hemos analizado. Se precisa, por tanto, una educación para la sostenibilidad que aborde con detenimiento los problemas, favorezca análisis realmente globalizadores e impulse decididamente, y desde todas las áreas, comportamientos responsables, objetivos a los que pensamos puede contribuir el desarrollo de este programa de actividades.

La construcción de un esquema gráfico, como el que se propone en esta actividad, constituye una de las mejores formas de impulsar una recapitulación de los problemas tratados que muestre la estrecha vinculación de dichos problemas y de las medidas concebidas para lograr un desarrollo sostenible. La organización de una sesión póster para discutir los distintos esquemas elaborados permite profundizar colectivamente en esta visión global y ayuda a cada grupo a autorregular su trabajo. En la **figura 1**, que se adjunta al final del programa de actividades, se muestra uno de estos mapas conceptuales, elaborado por los autores de este trabajo, aunque es deudor, en buena medida, de las aportaciones realizadas por distintos equipos de profesores en formación y en activo que participaron en talleres para debatir los problemas del mundo. Naturalmente, no se pretende presentarlo como "el modelo

correcto", sino como uno más de los que se discutirán en la sesión póster. De hecho, sólo en la medida en que un equipo ha elaborado su propio esquema, puede sacar provecho de los elaborados por otros equipos.

Digamos, para terminar, que el llevar adelante un programa de actividades como el descrito, con estudiantes de distintos niveles, forma parte de una línea de investigación *y acción* educativa que estamos impulsando en torno al papel de la educación en la formación de los futuros ciudadanos y ciudadanas para encarar el problema global de la situación del mundo. Una línea de trabajo que estamos seguros va a desarrollarse pujantemente en los próximos años. Nos va en ello, ciertamente, el futuro de nuestra especie.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir de los trabajos que se indican y ha contado con la revisión y asesoramiento del Dr. Alberto Maiztegui, Presidente de la Academia Nacional de Ciencias de Argentina:

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.

GIL- PÉREZ, D., VILCHES, A., EDWARDS, M., PRAIA, J., MARQUES, L. y OLIVEIRA, T. (2003). A Proposal to Enrich Teachers' Perception of the State of the World: first results. *Environmental Education Research*, 9(1), 67-90.

Referencias bibliográficas en este capítulo

ABRAMOVITZ, J. N. (1998). La conservación de los bosques del planeta. En Brown L. R., Flavin, C., French, H. et al., *La situación del mundo, 1998*. Barcelona: Icaria.

AIKENHEAD, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 69 (4), 453-475.

ANDERSON, B. (1999). Evaluating students' knowledge understanding and viewpoints concerning "The State of the World in the spirit of developmental validity". University of Goteborg. Sweden. En *Research in Science Education. Past, Present and Future*. Vol. 1. Second International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A). August 31-September 4. Kiel, Germany: IPN.

BANCO MUNDIAL (2000). *En el umbral del siglo XXI. Informe sobre el desarrollo mundial, 1999-2000.* Madrid: Mundi Prensa.

BROWN, L. R. (1993). El inicio de una nueva era. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo, 1993*. Barcelona: Ed. Apóstrofe.

BROWN, L. R. (1998). El futuro del crecimiento. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo, 1998*. Barcelona: Ed. Icaria.

BROWN, L. R., FLAVIN, C. y FRENCH, H. (Ed.) (1984-2004). *The State of the World*. New York: W.W. Norton.

BROWN, L. R. y MITCHELL, J. (1998). La construcción de una nueva economía. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo, 1998*. Barcelona: Ed. Icaria.

BUTTON, J. and FRIENDS OF THE EARTH (1990). *¡Háztelo Verde!* Barcelona: Integral.

BYBEE, R. (1991). Planet Earth in crisis: how should science educators respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153.

CARSON, R. (1980). *Primavera silenciosa,* Barcelona: Grijalbo.

COMÍN, P. y FONT, B. (1999). *Consumo sostenible*, Barcelona: Icaria.

COMISIÓN MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988). *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza.

CORTINA, A. et al. (1998). *Educar en la justicia*. Valencia: Generalitat Valenciana.

COUNCIL OF THE MINISTERS OF EDUCATION OF THE EUROPEAN COMMUNITY (1988). *Resolution on Environmental Education, Official Journal of the European Communities* (C177/8).

DALY, H. (1997). Criterios operativos para el desarrollo sostenible. En Daly, H. y Schutze, C., *Crisis ecológica y sociedad*. Valencia: Ed. Germania.

DELÉAGUE, J. P. y HÉMERY, D. (1998). Energía y crecimiento demográfico. En Le Monde diplomatique, edición española, *Pensamiento crítico versus pensamiento único*. Madrid: Ed. Debate.

DELORS, J. (Coord.) (1996). *La Educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la educación para el siglo XXI*. Madrid: Santillana. Ediciones UNESCO.

EDWARDS, M. (2003). La atención a la situación del mundo en la educación científica. Tesis doctoral. Universitat de València.

EHRLICH, P. R. y EHRLICH, A. H. (1994). *La explosión demográfica. El principal problema ecológico*. Barcelona: Salvat.

FIEN, J. (1995). Teacher for sustainable world: The environmental and Development Education Project for Teacher Education. *Environmental Education Research*, 1(1), 21-33.

FLAVIN, C. y DUNN, S. (1999). Reinvención del sistema energético. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H. *La situación del mundo, 1999*. Barcelona: Icaria.

FOLCH, R. (1998). *Ambiente, emoción y ética*. Barcelona: Ed. Ariel.

GARCÍA, E. (1999). *El trampolín Fáustico: ciencia, mito y poder en el desarrollo sostenible.* Valencia: Ediciones Tilde.

GARCÍA RODEJA, I. (1999). El sistema Tierra y el efecto invernadero, *Alambique*, nº 20, 75-84.

GIDDENS, D. (2000). *Un mundo desbocado*. Madrid: Taurus.

GIL-PÉREZ, D. (1998). El papel de la educación ante las transformaciones científico-tecnológicas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 69-90.

GIL-PÉREZ, D., GAVIDIA, V., VILCHES, A. y EDWARDS, M. (1999). Visiones de los profesores de ciencias sobre las problemáticas a las que la comunidad científica y la sociedad deberían prestar una atención prioritaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 13, 81-97.

GIL-PÉREZ, D, VILCHES, A., ASTABURUAGA, R. y EDWARDS, M. (2000). La atención a la situación del mundo en la educación de los futuros ciudadanos y ciudadanas. *Investigación en la Escuela*, 39-56.

GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., EDWARDS, M., PRAIA, J., MARQUES, L. y OLIVEIRA, T. (2003). A Proposal to Enrich Teachers' Perception of the State of the World: first results. *Environmental Education Research*, 9(1), 67-90.

GONZÁLEZ, E. y DE ALBA, A. (1994). Hacia unas bases teóricas de la Educación Ambiental. *Enseñanza de las Ciencias,* 12(1), 66-71.

GORDIMER, N. (1999). Hacia una sociedad con valor añadido. *El País,* domingo 21 de febrero, páginas 15-16.

GORE, A. (1992). *La Tierra en juego. Ecología y conciencia humana*. Barcelona: Ed. Emecé.

HICKS, D. y HOLDEN, C. (1995). Exploring the future: a missing dimension in environmental education. *Environmental Education Research*, 1(2), 185-193.

JÁUREGUI, R., EGEA, F. y DE LA PUERTA, J. (1998). *El tiempo que vivimos y el reparto del trabajo*. Barcelona: Editorial Paidós.

LEWIN, R. (1997). *La sexta extinción.* Barcelona: Tusquets Editores.

LUFFIEGO, M. y RABADÁN, J. M. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 473-486.

LUQUE, A. (1999). Educar globalmente para cambiar el futuro. Algunas propuestas para el centro y el aula. *Investigación en la Escuela*, 37, 33-45.

MAALUF, A. (1999). *Las identidades asesinas*. Madrid: Alianza.

MARTÍNEZ, M. (1997). Consideraciones teóricas sobre educación en valores. En Filmus D. Compilador, *Las transformaciones educativas en Iberoamérica. Tres desafíos: democracia, desarrollo e integración*. Buenos Aires: Ed. Troquel.

MAYER, M. (1998). Educación ambiental: de la acción a la investigación. *Enseñanza de las Ciencias,* 16(2), 217-231.

MAYER, V. (1995). Using the Earth System for Integrating the Science Curriculum, *Science Education*, 79(4), 375-391.

MAYOR ZARAGOZA, F. (1997). Entrevista realizada por González E., *El País*, domingo 22 de junio, pág. 30.

MAYOR ZARAGOZA, F. (2000). *Un mundo nuevo*. Barcelona: Círculo de Lectores.

McGINN, A. P. (1998). La promoción de una pesca sostenible. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H*., La situación del mundo, 1998.* Barcelona: Ed. Icaria.

NACIONES UNIDAS (1992). *UN Conference on Environmental and Development, Agenda 21 Rio Declaration,* Forest Principles*.* París: UNESCO.

NAREDO, J. M. (1997). Sobre el rumbo del mundo. *Le Monde diplomatique*, Ed. española, año II, n° 20, pp. 1 y 30-31.

O'MEARA, M. (1999). La nueva visión para las ciudades. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo, 1999.* Barcelona: Ed. Icaria.

ORR, D. W. (1995). Educating for the Environment. Higher education's Challenge of the Next Century. *Change*, May/June , 43-46.

RAMONET, I. (1997). *El mundo en crisis*. Madrid: Debate.

RENNER, M. (1993). Prepararse para la paz. En Brown, L. R., *La situación del mundo, 1993*. Barcelona: Ed. Apóstrofe.

RENNER, M. (1999). El fin de los conflictos violentos. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mund,.* 1998. Barcelona: Ed. Icaria.

ROODMAN, D. M. (1999). El mercado en beneficio del medio ambiente. En Brown L. R., *La situación del mundo, 1996*. Barcelona: Ed. Icaria.

SEN, A. (1999). *Desarrollo y libertad*. Barcelona: Planeta.

SILVER, D. y VALLELY, B. (1998). *Lo que Tú Puedes Hacer para Salvar la Tierra.* Salamanca: Lóguez.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.

TILBURY, D. (1995). Environmental education for sustainability: defining de new focus of environmental education in the 1990,s. *Environmental Education Research*, 1(2), 195-212.

TRAVÉ, G. y POZUELOS, F. (1999). Superar la disciplinariedad y la transversalidad simple: hacia un enfoque basado en la educación global. *Investigación en la Escuela,* 37, 5-13.

TUXILL, J. (1999). Valoración de los beneficios de la biodiversidad. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo*, 1999. Barcelona: Icaria.

TUXILL, J. y BRIGHT, C. (1998). La red de la vida se desgarra. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H. *La situación del mundo*. 1998. Barcelona: Icaria.

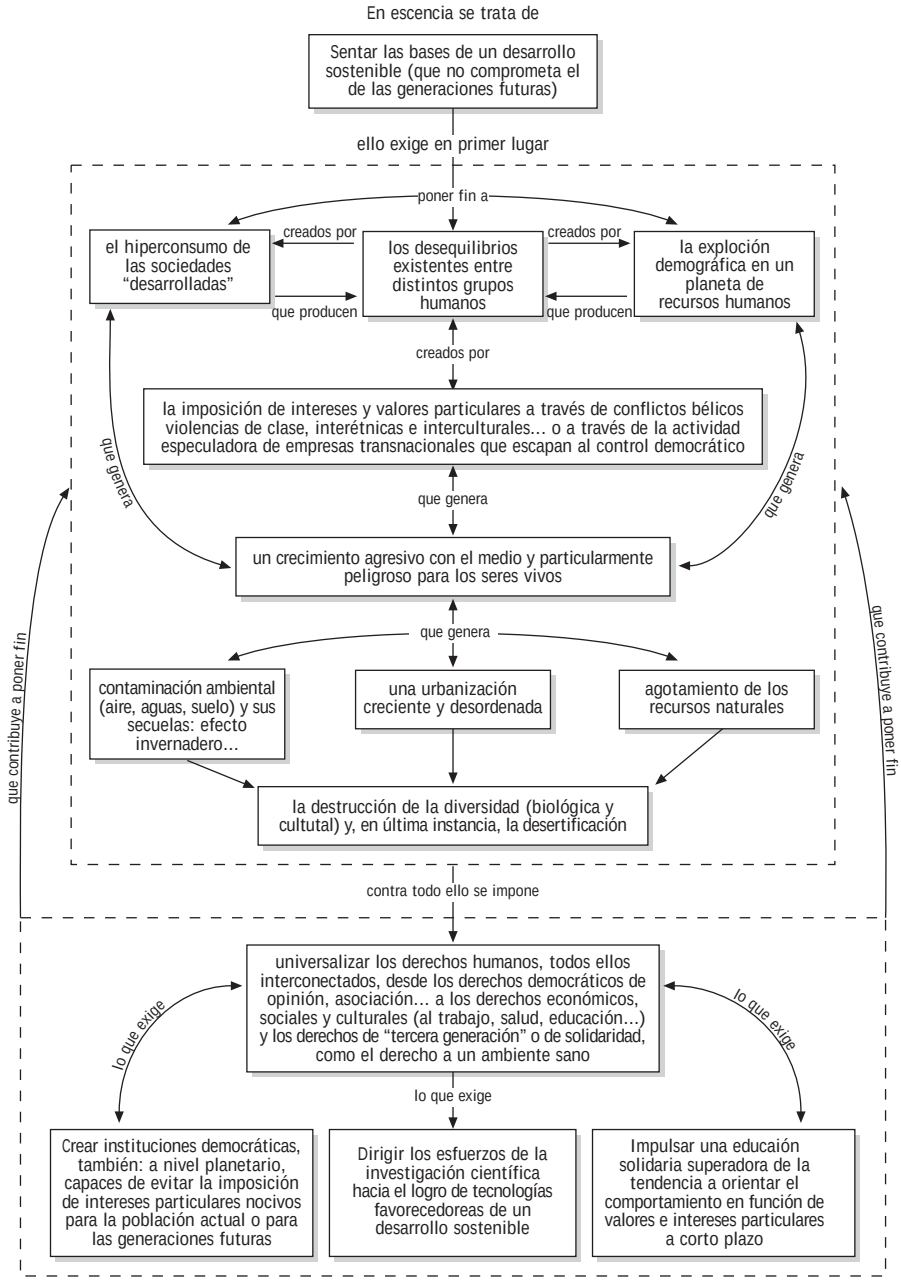
UNESCO (1987). Elementos para una estrategia internacional de acción en materia de educación y formaciones ambientales para el decenio de 1990. En *Congreso Internacional UNESCO-PNUNA sobre la educación y la formación ambientales.* Moscú: UNESCO.

VERCHER, A. (1998). Derechos humanos y medio ambiente. *Claves de Razón práctica,* 84, 14-21.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.

FIGURA 1.

UNA SITUACIÓN DE EMERGENCIA PLANETARIA
PROBLEMAS Y DESAFÍOS



CUARTA PARTE

OTRAS VOCES

Es obligado explicar, en primer lugar, el porqué de esta sección *Otras Voces*.

Al aceptar la responsabilidad de preparar este libro acerca de cómo promover el interés por la cultura científica, los autores hemos sido muy conscientes de que nuestra voz no cubre, ni mucho menos, la amplia gama de investigaciones e innovaciones que se están realizando con este propósito en el ámbito iberoamericano. Ésta es una situación bastante común, claro está, cuando un autor o un equipo emprende una tarea como la que nos ha sido propuesta, y que se suele paliar, en alguna medida, con referencias a los trabajos de otros autores.

Sin embargo, en esta ocasión hemos creído necesario ir más allá de las referencias puntuales a otros autores y hemos buscado también la participación de un número importante de ellos para, en primer lugar, dejar clara constancia de nuestro reconocimiento a su trabajo y ofrecer la oportunidad de un contacto directo con ellos. Un contacto que puede ampliarse y profundizarse gracias a las direcciones que hemos incluido a tal efecto en la última parte del libro.

Una segunda razón para la incorporación de esta sección es que los miembros del equipo responsable de la confección del libro tenemos una formación físico-química y hemos creído necesario ofrecer ejemplos de materiales para el aula en el campo de la biología.

No se nos escapa que, pese a estos esfuerzos, el libro sigue teniendo muchas lagunas: no hay, por ejemplo, materiales de geología y muchos equipos relevantes de investigación e innovación en didáctica de las ciencias no han podido ser incorporados. Sería absurdo, claro está, pretender escribir un libro sin esas lagunas y es preciso reconocer que el mejor libro es... una biblioteca de trabajo. Nuestro propósito ha sido, en definitiva, realizar una contribución a dicha biblioteca.

Así pues, en esta cuarta parte damos la palabra a *otras voces,* incluyendo dos unidades didácticas del campo de la biología y reflexiones en torno a cada uno de los capítulos anteriores. El contenido de esta cuarta parte queda, pues, así:

1. *¿Cómo enfrentarse al problema de la resistencia de las plagas?*
2. *Captando información...*
3. *Comentarios a los capítulos 1 al 14.*

Otras Voces

¿Cómo enfrentarse al problema de la resistencia en las plagas? El cambio biológico

María Pilar Jiménez Aleixandre

Comentario preliminar. Una comunidad de producción de conocimientos: el modelo de selección natural ocupa un lugar central en la articulación de la biología como disciplina y como campo de investigación. Pero, además, la teoría de la evolución modificó de forma radical posiciones ontológicas de mayor alcance que el dominio de la biología, cambiando la forma de concebir el mundo y, sobre todo, el lugar ocupado en él por los seres humanos. Concebir a los seres humanos como animales, seres vivos cuyo origen puede explicarse por las mismas teorías que explican el origen de las restantes especies, conllevó asimismo un cambio en los supuestos epistemológicos, en las ideas acerca del propio conocimiento. El ser humano dejaba de ser un ente aparte, el último grado en la escala de la perfección, pasando a integrarse en el conjunto de las innumerables especies, animales, vegetales, hongos y microorganismos, que pueblan la Tierra. La teoría de la evolución de Darwin y Wallace supuso pues no sólo una revolución científica, en el sentido de Kuhn, sino también una verdadera revolución intelectual de gran influencia en diversas ramas del pensamiento, de mucho mayor calado que otras teorías de comparable relevancia científica.

El objetivo de este programa de actividades es que el alumnado participe, trabajando en grupos, como miembros de una comunidad de producción de conocimientos, en la búsqueda de las respuestas a algunas de las preguntas que plantea el origen de los seres vivos y los fenómenos evolutivos, en la reconstrucción de los acalorados debates que la teoría de la evolución ha suscitado y sigue suscitando.

El diseño de las actividades se enmarca en la perspectiva de Giere que considera el razonamiento científico, más que como un proceso de inferencia, como una toma

de decisiones, un ejemplo del ejercicio humano de juzgar. Varias de las actividades demandan que el alumnado tome parte en procesos de elección entre los distintos modelos o teorías que compiten en la explicación de un fenómeno, reflexionando sobre los criterios utilizados para ello, siguiendo la propuesta de Duschl (1997) de aplicar esta perspectiva a la enseñanza de las ciencias.

El contenido de las actividades se ha elegido teniendo en cuenta su contexto social, optando por análisis de casos de cambio biológico de relevancia para la vida de las personas: los insectos que constituyen plagas y vectores de enfermedades. El programa de actividades parte de una simulación que constituye un problema auténtico (Jiménez Aleixandre, 2003) cuya resolución vertebra la unidad. Creemos que este enfoque es coherente con el objetivo de formar personas críticas, ciudadanos y ciudadanas capaces de pensar por sí mismos, y que refleja una imagen de la ciencia como una actividad problemática, sujeta a debates y continuas revisiones, provisional, influida por las ideologías y poderes en la sociedad en la que se desarrolla e influyendo sobre ella.

INTRODUCCIÓN: PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA Y EXPLORACIÓN DE LAS IDEAS DEL ALUMNADO

Actividad 1. Resistencia a los insecticidas

Desde 1908, en que apareció el primer caso de resistencia, el número de insectos que constituyen plagas para cultivos o que transmiten enfermedades ha aumentado año tras año, dificultando enormemente su control. Esto es causa de gran preocupación para los gobiernos de distintos países y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Se les pide a ustedes que trabajen en equipos sobre este problema, analizando sus causas y proponiendo soluciones. Para ello deben estudiar atentamente la información que se proporciona más adelante e ir realizando las actividades, guardándolas en su carpeta o cuaderno para revisarlas al final de la tarea.

En la segunda mitad del siglo XX, durante la llamada "revolución verde", la agricultura tradicional se ha visto sustituida por otra en la que se utilizan en mucho mayor grado abonos e insecticidas. Sin embargo, en los últimos años se ha puesto de manifiesto que hay muchos insectos y arácnidos (unas 500 especies) de los que constituyen plagas para los cultivos, como pueden ser las polillas de la papa, los barrenadores del maíz, o las moscas que atacan los frutales, a los que no hacen efecto los insecticidas más utilizados, o que necesitan cantidades mayores para su control. Este fenómeno se conoce como resistencia. Aunque ahora se utilizan más plaguicidas químicos (hasta 2 millones de toneladas de ingredientes activos por año en todo el mundo), el porcentaje de pérdida de cosechas es de un 30% (Riechmann, 2000), similar al de los años cuarenta.

Lo mismo ocurre con los insectos que transmiten enfermedades (llamados vectores), por ejemplo los mosquitos que transmiten la malaria, las pulgas o las cucarachas. En 1955, la malaria se combatía con rociados de DDT, pero veinte años después se comprobó, tanto en América como en África y Asia, que numerosas poblaciones de mosquitos no eran afectadas por este insecticida.

1a) *¿Qué explicación creen que tiene el hecho de que hace años les hiciesen efecto los insecticidas y ahora no? Si piensan que hay varias explicaciones posibles, anótenlas todas.*

Comentarios 1a. Es importante explorar las ideas del alumnado, sus explicaciones a un caso de cambio biológico, no tanto para que el profesorado las conozca, pues probablemente serán similares a las detectadas por la investigación, sino sobre todo para que ellos mismos sean conscientes de qué modelos o ideas están empleando para explicarlo, primer paso para el cambio conceptual.

Según muestran distintos estudios (por ejemplo, Jiménez Aleixandre, 1991), sólo una pequeña proporción (menos del 10%) de estudiantes de secundaria o bachillerato explican la resistencia por supervivencia diferencial, mientras que la mayoría (más del 60%) la explica "*porque se han ido acostumbrando a ese veneno*", "*por procesos genéticos de inmunización progresiva*", es decir utilizando la idea de adaptación como proceso, y la herencia de los caracteres adquiridos. Otros dan explicaciones finalistas: "L*as especies han mejorado con el paso del tiempo*".

Algunas cuestiones que se pueden discutir, antes de entrar en el modelo de selección natural, si los estudiantes dan estas respuestas, son:

¿Creen que los individuos se acostumbran a un veneno o no? (si han contestado que "se acostumbran").

¿Es el mismo proceso inmunidad y resistencia? (si han contestado que "se inmunizan").

¿Puede un agente tóxico en el medio causar efectos (mutaciones genéticas) dirigidas a dotar de protección contra ese agente? Por ejemplo, las mutaciones causadas por la bomba atómica de Hiroshima o el accidente nuclear de Chernobil, ¿confieren protección contra las radiaciones? (si han contestado que "han experimentado mutaciones").

Es conveniente conservar las explicaciones previas para que al final de la unidad los alumnos y alumnas puedan compararlas con las nuevas, siendo así conscientes de lo que han aprendido. No se trata de darles ahora la respuesta (modelo de selección natural), sino indicar que seguiremos trabajando a lo largo de la unidad.

1b) *Elaboración de una gráfica*. Las siguientes cifras dan una idea del aumento de las resistencias a lo largo del siglo XX. *Elaboren una gráfica con ellas*.

Año	Número de especies resistentes
1900	Ninguna conocida
1908	1 (cochinilla)
1920	6
1945	20
1966	180
1968	228
2000	500

1c) *Relación entre el uso de DDT y las variaciones en la resistencia*. En 1945 comenzó a extenderse por todo el mundo el uso del DDT y otros plaguicidas. *¿Se observa algún cambio en la evolución de las resistencias a partir de ese año? ¿Cuál? ¿Qué explicación puede tener?*

1d) *Elaboración de un banco de palabras*. Elaboren una lista de conceptos o términos que aparecen en el texto sobre "resistencia a insecticidas" y que les parezca que es necesario tener claros para resolver la tarea. Busquen su significado en un diccionario o pregúntenle al profesor o profesora las que no conozcan, y anótenlo.

Comentarios 1b a 1d. El objetivo de 1b es poner de manifiesto visualmente el enorme incremento en las resistencias a partir de la extensión del uso del DDT. El alumnado puede construir en grupos una simple gráfica de coordenadas. En 1c se pretende que relacionen el período de mayor incremento (de 1945 a 1966) con esa extensión en el uso del DDT. Las explicaciones serán, muy probablemente, similares a las expuestas para 1a.

El banco de palabras tiene el objetivo de clarificar conceptos, entre otros, por ejemplo:

Plaga: organismo que causa daños en los cultivos, por ejemplo insectos, hongos (como el tizón de la papa), gusanos, etc.

Plaguicida: sustancias utilizadas para matar los organismos que son plagas. Según el organismo, reciben distintos nombres: insecticidas, fungicidas, vermicidas, etc. En esta unidad nos ocupamos sobre todo de los insecticidas.

Vectores: insectos que transmiten una enfermedad infecciosa, como el mosquito, que transmite con su picadura el agente de la malaria.

El desarrollo de resistencia es un ejemplo de cambio biológico, de organismos que, al cabo de varias generaciones, son distintos en algún carácter a sus antepasados. Una cuestión relacionada con ésta es la gran variedad de seres vivos que pueblan la Tierra.

Actividad 2. Origen de las especies

2a) *¿Cómo ha llegado a existir este gran número de animales y vegetales diferentes?*

2b) *¿Les parece que hay más, menos o igual número de especies ahora que en los primeros tiempos de vida en la Tierra?*

Comentarios 2a y 2b. Las respuestas del alumnado a la cuestión 2a son variadas, pero es probable que alrededor del 50% lo expliquen utilizando la idea de la adaptación como proceso y la necesidad (lo que solemos llamar explicaciones "lamarckistas" aunque ello no haga justicia a Lamarck), por ejemplo "*al irse extendiendo por la superficie de la tierra esas plantas necesitaban adaptarse a ese clima*", o "*en diferentes condiciones de vida evolucionan de manera diferente según sus necesidades de adaptabilidad*", o "*un animal se subió a un árbol y se acostumbró a ese medio de vida*", donde se observa que utilizan el término "evolución", pero con un significado distinto al modelo de Darwin y Wallace. Otros dan explicaciones finalistas y antropocéntricas; por ejemplo, "*porque los vegetales existentes son necesarios para la producción de oxígeno en la atmósfera*", o "p*ara mantener un equilibrio natural. Cada especie es complementaria de otra y necesita de las demás para poder vivir. Si no existieran vegetales, los herbívoros no podrían sobrevivir, y sin éstos los carnívoros morirían. Tampoco el hombre podría sobrevivir*", confundiendo un proceso (equilibrio) con una causa, y proponiendo que los organismos existen porque otros (o el ser humano) lo necesitan.

Entre las respuestas a 2b hay algunos que responden adecuadamente que el número es mayor ahora, pero otros contestan que es menor, debido a las extinciones causadas por los seres humanos, lo que pone de manifiesto una confusión entre magnitudes: el

número de especies se incrementó desde los primeros organismos al gran número que existe en la actualidad (y que ha existido en momentos anteriores, desapareciendo en las grandes extinciones, como la del Cretácico, en la que perecieron los dinosaurios).

1. EXPLICACIONES HISTÓRICAS SOBRE EL ORIGEN DE LAS ESPECIES

Desde muy antiguo se han buscado respuestas a la cuestión de cómo ha llegado a haber la gran variedad de especies que existen sobre la Tierra. Las explicaciones populares a la variedad de la vida se recogen en numerosos mitos de creación en distintas culturas. A continuación reproducimos unos fragmentos de dos de ellos, el del *Popol Vuh*, de un pueblo maya, los quichés de Chichicastenango, Guatemala, y el del Génesis, en la Biblia.

La primera creación según el Popol Vuh: "Sólo había cielo y mar en la oscuridad. Sobre el mar estaban los dioses creadores, ocultos bajo plumas verdes y azules (...) Entonces crearon por medio de la palabra. Dijeron: ¡Hágase así! ¡Que se llene el vacío! ¡Que esta agua se retire y desocupe (el espacio), que surja la tierra y que se afirme. (...) Dijeron 'Tierra' y al instante surgió la tierra, las montañas emergieron del agua y crecieron, cubriéndose enseguida de árboles (...) Luego hicieron a los animales, a los genios de las montañas y a los guardianes de los bosques: venados, pájaros, pumas, jaguares, culebras y víboras". (En J. Monjarás, coord., *Mitos cosmogónicos del México indígena*. México: INAH, 1987).

La creación según el Génesis: "Dijo Dios: 'Produzca la tierra vegetación: hierbas que den semilla y árboles frutales que den fruto de su especie, con su semilla dentro, sobre la tierra'. Y así fue. (...) Y atardeció y amaneció: día tercero. (...) Dijo Dios: 'Bullan las aguas de animales vivientes y aves revoloteen sobre la tierra contra el firmamento celeste'. Y creó Dios los grandes monstruos marinos y todo animal viviente. (...) Y atardeció y amaneció: día quinto. Dijo Dios: 'Produzca la tierra animales vivientes de cada especie: bestias, sierpes y alimañas terrestres de cada especie'. Y así fue. (...) Y dijo Dios: 'Hagamos al ser humano a nuestra imagen, como semejanza nuestra, y manden en los peces del mar y en las aves de los cielos, y en las bestias y en todas las alimañas terrestres".

Pueden leer el texto completo del Génesis en la Biblia y buscar otras narraciones populares de su país.

Actividad 3. ¿Fijismo o evolucionismo?

Las explicaciones sobre el origen de las especies animales y vegetales pueden distribuirse en dos grandes bloques. Las explicaciones fijistas proponen que las especies aparecieron todas al mismo tiempo, al inicio de la historia de la Tierra, y que no han cambiado, manteniéndose inmutables, fijas. Las explicaciones evolucionistas proponen que las primeras especies han ido cambiando (evolucionando), y que las que existen ahora son diferentes y descienden de aquellas pocas especies primitivas. Las diferencias entre los dos bloques de explicaciones pueden resumirse en:

Tipo de causas por su origen. Para las teorías fijistas, la aparición de las especies se debe a causas sobrenaturales, y que actuaron una o pocas veces de manera excepcional (en geología esto se conoce como catastrofismo). Para las teorías evolucionistas, se debe a causas que tienen que ver con fenómenos naturales, observables, y que proceden a un ritmo lento y de forma repetida (uniformismo).

Tipo de causas por su semejanza o diferencia con las iniciales. Para las teorías fijistas, las causas que operaron en los primeros tiempos eran diferentes; para las evolucionistas, son las mismas causas y procesos que operan en la actualidad (actualismo).

Tipo de mecanismos. Para las teorías evolucionistas, los mecanismos y leyes de la naturaleza son los mismos para todos los seres vivos; para las fijistas, hay casos especiales, por ejemplo el ser humano es un caso aparte (objeto de una creación específica).

3a) *¿A qué grupo pertenecen las explicaciones del Popol Vuh y el Génesis: fijistas o evolucionistas? Razonen la respuesta.*

3b) *Marquen las frases o fragmentos de cada texto que justifican el que lo hayan situado entre las fijistas o las evolucionistas*.

Comentarios 3a y 3b. El objetivo es que los alumnos y alumnas reflexionen sobre algunos de los supuestos ontológicos y epistemológicos (aunque con ellos no utilicemos estos nombres) que están en la base de la teoría de la evolución de Darwin y Wallace, así como los supuestos fijistas con los que constituyeron una ruptura, al aplicarlos para situar las narraciones del Popol Vuh y el Génesis en uno u otro bloque. Para que puedan hacer suyos estos conocimientos en cuanto a las diferencias entre ambas explicaciones es importante que operen con ellos.

Estas posiciones descartadas tenían su origen en creencias religiosas, en una interpretación literal de la Biblia, y llevaron a la Iglesia a una oposición frontal a las teorías evolucionistas anteriores a Darwin, siendo el temor a este conflicto, según distintos autores, una de las causas de que se retrasase durante más de veinte años la publicación de *El origen de las especies*. Los temores de Darwin estaban fundados y su obra fue incluida en el "Índice" de libros prohibidos, poniéndose en muchos países obstáculos a su enseñanza (que aún persisten hoy día, por ejemplo, en varios estados de Estados Unidos). El evolucionismo requiere un marco en el que se acepten las causas naturales y la generalizabilidad y universalidad de los mecanismos naturales y de las explicaciones teóricas. Las diferencias se resumen en la figura 1 (Jiménez Aleixandre, 2004).

Supuestos	Evolucionismo	Ruptura con	
Ontológicos	- Causas naturales, uniformismo - Causas actuales y pasadas, actualismo - Seres humanos *parte* del mundo natural	- Causas sobrenaturales, catastrofismo - Causas al inicio de la historia de la Tierra - Seres humanos *sobre* el mundo natural	Influidos por creencias religiosas
Epistemológicos	Generalizabilidad: - Mecanismos ≈ para todos los organismos - Explicación común para ≠ lugares	Especificidad: - Creación especial del ser humano - Explicaciones específicas	

Figura 1. Supuestos ontológicos y epistemológicos del evolucionismo.

Es importante tener en cuenta las rupturas de carácter ontológico y epistemológico que conlleva la enorme transformación en las explicaciones sobre el origen de las especies del modelo evolucionista, para valorar en su justa medida las dificultades de comprensión y uso del modelo por parte del alumnado que la investigación didáctica ha constatado en diferentes países y niveles educativos.

Actividad 4. ¿Qué edad tiene la Tierra?

4a) *¿Cuál de estas edades creen que se aproxima más a la de la Tierra?* (a = años, ma = millones de años)

4.500 a 45.000 a 450.000 a 4,5 ma 45 ma 450 ma 4.500 ma

Tres propuestas sobre la edad de la Tierra:

Siguiendo la Biblia: Las explicaciones evolucionistas del origen de las especies y las teorías actualistas en geología suponen que los procesos naturales tienen que haber operado durante muchos miles de años para llevar a cabo efectos como formación de valles y montañas, o transformaciones en los seres vivos. Esta idea de un largo tiempo contradecía la interpretación literal de la Biblia, según la cual, calculando las generaciones desde Adán y Eva, Lighfoot dedujo en el siglo XVII que la Tierra había sido creada el 17 de septiembre de 3928 antes de Cristo. Pocos años después, el arzobispo Usher revisó los cálculos y lo retrasó hasta el 24 de octubre de 4004 a.C. En el siglo XVIII Buffon, explicó la historia de la Tierra prescindiendo del diluvio y proponiendo una edad de 74.000 años, pero en 1751 fue condenado por la Facultad de Teología y obligado a retractarse (a decir que estaba equivocado).

Cálculo del físico Lord Kelvin: En 1862, después de la publicación de *El origen de las especies* de Darwin y de los *Principios de Geología* de Charles Lyell, que defendían una edad de la Tierra del orden de miles de millones de años, el físico Thompson (conocido como Lord Kelvin, autor de la escala de temperatura que lleva su nombre) calculó esta edad basándose en el segundo principio de la termodinámica. Afirmaba que si la Tierra se había ido enfriando, desde una situación inicial de incandescencia y con el Sol como única fuente de calor, midiendo: a) el aumento de temperatura a medida que se profundiza en el interior de la Tierra (gradiente geotérmico, 1º cada 33 m), y b) la conductividad de la corteza, y suponiendo que la temperatura del interior (que no podía medir) era aquella a la que se funden las rocas, se podía calcular el tiempo que había tardado en enfriarse, es decir su edad. Obtuvo un valor de 100 millones de años, que más tarde redujo a 24 millones.

Los naturalistas Lyell y Darwin pensaban que esto era demasiado poco tiempo, pero a estos datos y fórmulas cuantitativos no podían oponer más que razonamientos cualitativos, el tiempo necesario para que se formase el relieve y los seres vivos llegasen a ser como los conocemos hoy, no cifras concretas. Lyell mantenía que en el interior de la Tierra había procesos que generaban energía. La física era una ciencia prestigiosa, mientras que la biología y la geología estaban comenzando a constituirse, y la mayoría consideró que Kelvin, que proporcionaba cifras y datos, llevaba razón.

Cálculos actuales, datación absoluta y relativa: A partir del descubrimiento por Marie y Pierre Curie de la desintegración de los elementos radiactivos, que genera energía y calor en la Tierra, los cálculos de Kelvin perdieron uno de sus fundamentos. La radiactividad ha permitido calcular la edad de los materiales terrestres, por medio por ejemplo del carbono 14, y hoy día se estima en 4.500 millones de años la edad de la Tierra, dándoles la razón

a Lyell y Darwin. El método del carbono 14 es de datación absoluta, puede utilizarse para determinar la edad de un material con un margen de error del 2%. Otros métodos, como el estudio del polen, los anillos de crecimiento en los árboles, la secuencia estratigráfica o los fósiles, son de datación relativa, permiten conocer si un material o fósil es más o menos antiguo que otro, o calcular su edad por comparación con otro de edad conocida.

4b) *Expliquen cómo es posible que Kelvin llegase a conclusiones erróneas partiendo de principios teóricos correctos, como el segundo de termodinámica. Esta cuestión está relacionada con ¿vale cualquier método para cualquier problema?, o ¿es siempre preferible un cálculo cuantitativo a una estimación cualitativa?*

4c) *Construcción de una escala del tiempo geológico: en primer lugar hay que medir el perímetro de la pared del aula y dividir la edad de la Tierra entre esta medida, para identificar la escala. Por ejemplo, si la clase mide 9 x 5 = 45 m, correspondiente a los 4.500 m.a., 10 m son 1.000 m.a., 1 m son 100 m.a. y 1 cm es 1 m.a. Utilizar un rollo estrecho de papel de cinta registradora o similar, fijándolo a lo largo de todo el perímetro, es nuestra escala de tiempo. Utilizando un libro en el que aparezcan las eras geológicas, marcar en la escala las eras y períodos, y situar sobre ella momentos importantes, como: origen de la vida, plantas verdes, primeros peces, anfibios etc., la gran extinción del Pérmico, la extinción de los dinosaurios, los primeros homínidos.*

4d) *Teniendo en cuenta que los métodos están sujetos a error, ¿es posible calcular cuándo ocurrió un suceso hace millones de años, por ejemplo la aparición de la vida, con una precisión de meses o días o sólo aproximadamente? Razonen la respuesta.*

4e) *¿Podemos ver crecer las uñas? ¿Y el pelo? ¿Quiere esto decir que siempre están iguales? Si tuviesen que demostrarle a alguien que crecen ¿cómo lo harían?*

Comentarios 4a a 4e. El objetivo común es que el alumnado trabaje con la idea del tiempo geológico, procesos que tienen lugar a lo largo de miles de años, un concepto que presenta serias dificultades de aprendizaje, pues es muy diferente de la escala de la vida humana. Una gran proporción de estudiantes elige un valor medio (45 ó 450 m.a.) en lugar del valor correcto de 4.500 millones, aunque en la última década la popularidad de películas como *Parque Jurásico* y otros materiales sobre dinosaurios hace que tengan una idea aproximada de la fecha de extinción de éstos (hace unos 65 m.a.) y por tanto deduzcan que la edad de la Tierra debe ser mayor. Es éste un dato sobre el que podemos preguntarles si las cifras que proponen son menores.

El objetivo de 4b es reflexionar sobre un ejemplo de debate científico que opone, además de puntos de partida teóricos distintos, métodos diferentes, poniendo de manifiesto que no hay un "método científico" universal, así como que no siempre es más exacto un cálculo cuantitativo (o una cifra con muchos decimales), y que el uso de una fórmula matemática no garantiza resultados correctos, ya que algunos de los datos utilizados pueden ser erróneos, como le ocurrió a Kelvin. Cabe hacer notar que el debate entre Lyell y Kelvin es de carácter científico, mientras que Usher partía de prejuicios de carácter ideológico (religioso).

En 4c la construcción de la escala en papel, sobre la que se pueden situar eras y acontecimientos, ayuda a visualizar la idea del tiempo geológico y la pequeñísima parte de la historia de la Tierra durante la cual existen los homínidos.

Por último, en 4d y 4e se pretende discutir la idea de estimación, como cálculo aproximado y del error en la medición, poniendo de manifiesto la imposibilidad de cálculos precisos para sucesos tan remotos: en 500 m.a. el 2% son 10 millones de

años. A pesar de ello, es conveniente resaltar la importancia de la datación relativa, poniendo ejemplos de su propia vida (pueden no recordar la fecha exacta de un suceso, pero sí si ocurrió antes o después de otro, un nacimiento, viaje, cambio de residencia, etc.). En cuanto a las uñas y el pelo, son también ejemplos que se apoyan en su propia experiencia sobre la lentitud de procesos, demandando la reflexión sobre marcas o señales (pintar un punto en la uña, anudar unos cabellos, etc.).

2. LAS PRIMERAS TEORÍAS EVOLUCIONISTAS Y SUS OPONENTES: LAMARCK Y CUVIER

Las explicaciones fijistas que seguían la creación narrada en el Génesis fueron dominantes durante muchos años, y debido a la importancia de la Iglesia tenían carácter oficial. Así, Linneo, a quien debemos el sistema de clasificación de los seres vivos y la nomenclatura binomial, afirmaba: "*La naturaleza cuenta con tantas especies como fueron creadas desde el origen*". Esto suponía que habían permanecido iguales desde entonces. El fijismo explica las características adaptativas de los organismos por un diseño inteligente, es decir por haber sido diseñadas por el creador para ese fin, argumentando que la existencia de un reloj supone la del relojero. Hasta el siglo XIX persistió una clasificación de los mamíferos en la que los seres humanos se situaban en un orden aparte, bimanos, y no incluidos en los primates, ya que uno de los puntos de debate con el evolucionismo fue la posición del ser humano, que se consideraba situado sobre los demás seres vivos. A medida que se fue dejando de considerar a la especie humana como razón de todo lo existente, la explicación de que las demás especies existen porque son útiles a la especie humana fue siendo menos aceptable.

En el siglo XVIII se realizaron gran número de expediciones científicas, en las que se descubrieron cientos de nuevas especies animales y vegetales similares, pero no idénticas, a otras conocidas, lo que cada vez resultaba más difícil de explicar con las teorías fijistas. Quizás los datos más contradictorios con el fijismo eran los fósiles, restos o huellas de seres vivos mineralizados, como los huesos o pisadas de dinosaurios. En muchos casos eran muy distintos de las especies actuales emparentadas con ellos. Para los partidarios de que las especies cambian, eran una prueba del cambio. Para los partidarios del fijismo, eran prueba de cataclismos como el diluvio universal, que, según el geólogo Whiston, se habría producido el 18 de noviembre de 2349 a.C., y que podía haber transportado seres marinos a la cima de las montañas. A estos organismos antiguos se les llamaba "antediluvianos". Vamos a analizar a continuación el primer intento de teoría evolucionista (Lamarck), y la que se le opuso (Cuvier).

Modelo evolucionista de Lamarck, tendencia a la perfección. La idea del cambio o transformación de las especies tiene precursores, pero Lamarck (1744-1829) tuvo el mérito de estructurarla por vez primera de forma coherente, lo que se produce en el contexto de los descubrimientos de nuevas plantas y animales en expediciones y de las polémicas sobre los fósiles. Lamarck se dedicó al estudio de los "animales inferiores", que llamó invertebrados, y parece que esto hizo cambiar sus ideas pasando a defender la transformación de unas especies en otras: "*Con el paso del tiempo, la continua diferencia de las situaciones (...) tras muchas generaciones sucesivas, estos individuos, que pertenecían originariamente a otra especie, se encuentran transformados por fin en una especie nueva, distinta de la primera.*" (*Filosofía Zoológica*, 1809). Además de la refutación de la inmutabilidad de las especies, Lamarck señaló otra importante condición: los cambios se producen a ritmo

lentísimo, pues la naturaleza dispone de un "tiempo infinito", y debido a ello son imperceptibles. Propuso una explicación a las especies fósiles extintas distinta al diluvio u otras catástrofes. Lamarck consideraba a los seres vivos ordenados en una escala de menor a mayor complejidad o "perfección", y proponía que los órganos cambian por uso o desuso, necesidad o costumbre y que las características adquiridas se transmiten a la descendencia. Dos ejemplos son su explicación de la desaparición de las patas en las serpientes y de la longitud de patas y cuello en la jirafa (animal recién descubierto que despertaba mucha curiosidad).

"Las serpientes deberían, en consecuencia [como vertebrados que son], tener cuatro patas (...) Sin embargo, al haber tomado la costumbre de arrastrarse sobre la tierra y esconderse bajo las hierbas, han hecho que su cuerpo adquiriera una longitud considerable y en absoluto proporcionada a su grosor, como consecuencia de los esfuerzos siempre repetidos para alargarse, para poder pasar por espacios estrechos. Así pues, las patas habrían sido muy inútiles para estos animales, y en consecuencia un verdadero estorbo, pues unas patas largas hubieran sido nocivas para su necesidad de arrastrarse y unas patas muy cortas (...) hubieran sido incapaces de mover su cuerpo. Así, la falta de empleo de estas partes (...) ha hecho desaparecer totalmente las mismas".

"*Este animal (la jirafa), ... vive en lugares en que la tierra, casi siempre árida y sin hierba, lo obliga a pacer el follaje de los árboles y a esforzarse continuamente por alcanzarlo. De esta costumbre resulta, después de largo tiempo, en todos los individuos de su raza, que sus piernas de delante se han vuelto más largas que las de detrás, y que su cuello se ha alargado de tal forma que la jirafa, sin levantarse sobre sus patas traseras, eleva su cabeza y alcanza seis metros de altura".*

Posición de Cuvier: plan previo, inmutabilidad de las especies. Cuvier (1769-1832) fue contemporáneo de Lamarck, pero mejor situado profesionalmente, profesor del Museo de Ciencias y secretario de la Academia, por lo que su oposición frontal a la evolución llevó a que las ideas de Lamarck apenas fuesen tenidas en cuenta en Francia. Defendió la inmutabilidad de las especies: "*(cuando) se comparan individuos procedentes de hábitats ricos o pobres, o de climas calientes o fríos, se constata que (...) los rasgos esenciales, representados por los órganos importantes o las estructuras corporales, se mantienen constantes en todas las zonas geográficas*". A pesar de que demostró que en cada horizonte estratigráfico hay fósiles específicos, es decir que los animales fósiles son distintos de los actuales, explicaba la extinción de especies por cataclismos, no por sustitución. Su perspectiva fijista de que cada organismo había sido creado para ocupar un lugar concreto en la armonía natural era incompatible con la idea del cambio y le llevaba a explicar la adaptación por diseño previo; por ejemplo, los peces están hechos para el ambiente acuático: "É*ste es su puesto en la Creación. Allí se quedarán hasta la destrucción del presente orden de cosas*". Explicaba la semejanza entre órganos homólogos por la "unidad del tipo" o patrón por el que habían sido creados. Muchos de sus descubrimientos fueron utilizados más adelante como soporte del evolucionismo.

Actividad 5. ¿Qué prueban los órganos homólogos?

Los órganos homólogos fueron tratados por primera vez por el zoólogo inglés Richard Owen, contemporáneo de Lamarck y Cuvier, que los definió como el mismo órgano en diferentes animales, situado en la misma posición respecto a otros, aunque su función e incluso su forma fuesen distintas. Por ejemplo, la pata de un caballo, la de una rana, la aleta pectoral de un pez, las alas de un murciélago. Para Owen eran una prueba a favor del

fijismo, una muestra de que el creador había diseñado un arquetipo o modelo ideal, del que por ejemplo los distintos vertebrados serían variaciones. Para el evolucionismo, si las especies fuesen creadas de forma independiente no tendría sentido que poseyesen los mismos huesos o estructuras.

5a) *Comparen la explicación de Cuvier sobre los órganos homólogos con la de Owen. ¿Son iguales u opuestas? Razónenlo.*

5b) *Los órganos homólogos han sido utilizados más adelante como prueba del evolucionismo, de que diferentes especies proceden de un antepasado común. Escriban una breve (5 a 8 líneas) argumentación sobre los órganos homólogos como prueba de la evolución.*

5c) *Hemos tratado más arriba otro ejemplo de observaciones que fueron utilizadas tanto para apoyar el evolucionismo como el fijismo ¿Recuerdan cuál? ¿Indica esto algo acerca de la relación entre pruebas y teorías?*

Comentarios 5a a 5c. El objetivo de este apartado es presentar en su contexto histórico las ideas de Lamarck y Cuvier; por un lado, para permitir la comparación de teorías que se realiza más adelante, y por otro, por la persistencia de ideas alternativas del alumnado que guardan semejanza con las de Lamarck. Esos aspectos de sus teorías fueron superados más adelante, sin embargo, esto, que a veces es lo más tratado en la enseñanza, no debe oscurecer su gran contribución al modelo evolucionista. Todo ello en relación con el creacionismo, sobre el que, como señala Sober (1996), en esa épocas pudo tener carácter científico y sería anacrónico considerarlo seudociencia en el siglo XVIII; lo que ha cambiado ahora, indica este filósofo, es que sus hipótesis han sido refutadas, por lo que ya no forma parte de la ciencia. En cuanto a Cuvier, como hace notar Mayr (1998), muchos de sus estudios proporcionaron apoyo empírico a las teorías evolucionistas. Es un ejemplo más de que las observaciones son interpretadas en el marco de una teoría, y de cómo sus prejuicios ideológicos obstaculizaron el papel que hubiese podido jugar.

5a y 5b están encaminadas a la utilización de la idea de órganos homólogos, similar en Owen y Cuvier, como se deduce del resumen de las teorías del segundo. La argumentación que se solicita en b puede ir en la dirección de indicar que la coincidencia en las piezas de la extremidad (u otros órganos) con distinta función se explica mejor por proceder de un antepasado común.

El ejemplo de los fósiles interpretados de distintas formas en 5c muestra que las observaciones se interpretan según las teorías que mantenga cada cual. Un ejemplo sencillo de esto es la interpretación geocéntrica o heliocéntrica del movimiento aparente del Sol.

3. EL MODELO EVOLUCIONISTA DE DARWIN Y WALLACE

Modelo de selección natural de Darwin y Wallace. Alfred Wallace (1823-1913) y Charles Darwin (1809-1882) concibieron ambos independientemente el modelo de selección natural. Los dos habían leído a Malthus (crecimiento de población a mayor ritmo que recursos) y a Lyell, que proporcionaba un marco actualista en el que los cambios se producían a ritmo muy lento. Además, ambos realizaron viajes, Darwin a Sudamérica y Wallace a Malasia, en los que tuvieron oportunidad de observar diferentes especies emparentadas viviendo en lugares próximos. Hoy se considera a Wallace más "darwinista" que Darwin, pues abandonó antes aspectos como el uso y desuso.

Las ideas centrales del modelo de selección natural, aceptado hoy día por la comunidad científica, son:

– la *variabilidad* hereditaria en las poblaciones, lo que hace que distintos individuos se vean favorecidos en unas condiciones o perjudicados en otras.
– el enorme *potencial reproductor* de las especies, en la inmensa mayoría de las cuales sólo una pequeña proporción llega a la edad reproductiva.
– consecuencia de estas dos es la *supervivencia diferencial* (selección natural), debida a las diferencias heredadas.

Trataremos cada una de estas ideas por separado

El modelo de selección natural requiere pensar en términos de *poblaciones*, no de individuos, ya que no se trata de que cambien éstos, sino que la supervivencia de individuos con ciertos caracteres hereditarios y no con otros, lleva a *cambios en la población* (hoy diríamos en las frecuencias de genes, o alelos, en la población). A lo largo de mucho *tiempo*, otra condición crucial: las diferencias entre dos poblaciones originalmente pertenecientes a la misma especie, pueden llegar a ser tan grandes que se conviertan en especies distintas.

Actividad 6. ¿Qué teoría explica mejor las observaciones?

Fenómenos/teorías	Fijismo/ creacionismo	Lamarck Tendencia a perfección	Cuvier Inmutabilidad especies	Darwin-Wallace Selección natural
Distribución biogeográfica				
Fósiles, extinción				
Edad de la Tierra				
Estructuras homólogas				
Adaptación				
Semejanza proteínas/ADN en sp próximas				

Figura 2: Comparación del poder explicativo de cuatro teorías sobre el origen de las especies

La primera columna de la figura 2 representa diferentes fenómenos relacionados con las especies, su origen y su distribución. Algunos ya han sido tratados: los fósiles (y su extinción), la edad de la Tierra y las estructuras y órganos homólogos. La semejanza entre proteínas o bases del ADN en especies próximas puede considerarse un caso especial de homología, y la universalidad del material genético, ADN y del código genético, el mismo para todos los seres vivos, sean bacterias, insectos, plantas o humanos, es quizás la homología más importante. Resulta difícil explicar que todos los seres lo compartan si no es por un origen común, porque descienden de antepasados comunes. Si las distintas especies hubiesen sido creadas separadamente, no sería esperable que compartieran el código genético.

La *biogeografía* se refiere a la distribución de los seres vivos en las distintas regiones del globo. Las plantas y animales de distintos países son muy características (jirafas en África, pandas en China). Una explicación a por qué hay determinadas especies en unos lugares y otras en otros es el clima. Sin embargo, hay lugares, por ejemplo la costa atlántica de Europa y la costa de Nueva Zelanda, que tienen climas semejantes y, a primera

vista, comunidades de seres vivos parecidas. Pero al estudiarlas con atención se encuentran algunas especies comunes y otras totalmente distintas. La distancia constituye otro tipo de barrera para la migración. La observación de especies próximas en lugares que quedan aislados, por ejemplo islas, llegan a ser distintas como los pinzones de las Galápagos, están en la base del modelo de Darwin y Wallace. ¿Por qué en Australia sólo hay marsupiales, como el canguro, y no mamíferos placentarios? Es lógico si lo interpretamos suponiendo que la evolución tomó un camino distinto en África, Eurasia y América (conectadas por el paso de Behring) del de Australia.

Los seres vivos están *adaptados* a su medio; por ejemplo, los peces al agua, tienen forma fusiforme, respiran por branquias, están cubiertos de escamas. Ejemplos de adaptaciones son los mecanismos defensivos de animales o plantas que evitan o dificultan que sean comidos por los depredadores: la concha de los moluscos, las espinas de algunas plantas o sus toxinas que les dan mal sabor o hace que sean venenosas, las coloraciones de camuflaje, por ejemplo, de los peces como rodaballos que se confunden con el fondo del mar. Las teorías fijistas explican la adaptación por el diseño. Para Darwin y Wallace, se trata de que sobreviven mejor los que presentan algún carácter que mejora su adaptación, y dejan más descendientes. Según el ambiente, puede resultar mejor adaptado un carácter (por ejemplo, el pelaje blanco en la nieve) u otro (el pelaje oscuro en un bosque).

6a) Utilizando la tabla de la figura 8 decidan qué teoría explica mejor, de forma incompleta, o no explica en absoluto cada uno de los fenómenos, marcándolo en los cuadros (pueden dejar en blanco los que no tengan claro).

Comentarios 6a. Aunque son frecuentes las referencias a este modelo únicamente como "darwinismo", cada vez se reconoce en mayor medida la contribución de Alfred Wallace. La evaluación del potencial explicativo de estas cuatro teorías se puede llevar a cabo comparando los fenómenos evolutivos que puede explicar, así como la calidad de la explicación. Una síntesis de esta comparación aparece en la figura 3. Con asterisco se han marcado las explicaciones que hoy día se consideran inadecuadas.

Fenómenos/teorías	**Fijismo/ creacionismo**	**Lamarck Tendencia a perfección**	**Cuvier Inmutabilidad especies**	**Darwin-Wallace Selección natural**
Distribución biogeográfica	NO	SÍ* (uso/desuso)	NO (rasgos esenciales constantes)	SÍ (especiación)
Fósiles, extinción	SÍ* (prueba del diluvio)	SÍ* (sobreviven en en otros lugares)	SÍ* (relación estratos / fósiles; cataclismos)	SÍ (sustitución de especies)
Edad de la Tierra	NO (± 5.000 años)	SÍ (requisito "tiempo infinito")	NO	SÍ (requisito de modelo)
Estructuras homólogas	SÍ* (diseño inteligente)	NO	SÍ* (unidad del tipo)	SÍ (divergencia adaptativa)
Adaptación	SÍ* (diseño para un fin)	SÍ* (dirigida por necesidad)	SÍ* (diseño para su lugar natural)	SÍ ("pre" adaptación)
Semejanza proteínas/ ADN en sp próximas	NO	NO	NO	SÍ (filogenia)

Figura 3. Comparación de la potencia explicativa de cuatro teorías sobre las especies.

Cabe hacer notar que algunas cuestiones, como los fósiles o la adaptación, son explicadas (aunque sea de forma inadecuada) por todas las teorías, mientras que la semejanza

en el ADN y las proteínas sólo puede serlo en el marco de la selección natural, que se trata con más detalle en el apartado siguiente.

4. LA SELECCIÓN NATURAL: MECANISMOS DE CAMBIO

Las ideas centrales del modelo de selección natural de Darwin y Wallace son:

Variabilidad hereditaria en las poblaciones. Los mecanismos de la herencia biológica hacen que no existan dos hermanos (excepto gemelos idénticos) iguales entre sí y que entre los individuos de una especie haya muchas diferencias; por ejemplo, en los humanos, en color de piel, pelo y ojos, grupo sanguíneo, capacidad de percibir sabores u olores, etc. La col, el repollo, las coles de Bruselas y la coliflor pertenecen a la misma especie, y las papas o el maíz presentan muchas variedades de distinto color, tamaño y sabor. Algunas de estas diferencias son visibles y otras no, como el grupo sanguíneo, o la capacidad para soportar calor, frío u otras condiciones ambientales. En muchos países asiáticos y en los Balcanes, la mayoría de los adultos tienen intolerancia a la lactosa, lo que dificulta la digestión de la leche, razón por la que está muy difundido el yogurt.

Excesiva descendencia. La mayoría de los seres vivos tienen un enorme número de descendientes, de los que sólo unos pocos llegan a la edad reproductiva. Las plantas producen cientos o miles de semillas, los peces ponen millones de huevos; por ejemplo, el bacalao, 7 millones. Darwin calculó que en 700 años los descendientes de una pareja de elefantes podrían llegar a 19 millones si todos sobreviviesen. Para animales muy prolíficos, como las ratas, los descendientes de una pareja llegarían a 20 millones en sólo tres años, si todos sobreviviesen (¡por fortuna no es así!). Una hembra de mirlo europeo pone hasta 5 huevos, pero sólo 2 ó 3 de las crías llegan a volar. ¿Por qué no sobreviven todos? Porque no hay suficiente alimento, territorio (o sitio en el nido), porque son comidos por los depredadores. Según Darwin y Wallace, los que sobreviven son los que al nacer presentan alguna característica que les resulta ventajosa.

Supervivencia diferencial. En otras palabras, no es que un individuo cambie para sobrevivir mejor en un ambiente dado, sino que quedan vivos –o tienen más descendientes– los que presentan determinado carácter, es decir aumenta su proporción en la población. El mecanismo propuesto por Darwin y Wallace supone que cambian las poblaciones lentamente, y que en dos ambientes distintos los descendientes de antepasados comunes pueden, con el tiempo, llegar a ser muy diferentes.

Actividad 7. Un ejemplo de selección: malaria y anemia falciforme

La malaria o paludismo causada por el parásito *Plasmodium falciparum* (u otras especies), transmitido a través de mosquitos, afecta a unos 400 millones de personas cada año, matando entre 2 y 3 millones de ellos. El *Plasmodium* se alimenta de la hemoglobina de la sangre y se reproduce en el interior de los glóbulos rojos. En algunas áreas de África y Asia, donde la malaria es endémica, se da una enfermedad hereditaria, la anemia falciforme, debida a un alelo *a* que causa la producción de una hemoglobina diferente (dos de sus cuatro cadenas polipeptídicas, las ß llevan valina en lugar de ácido glutámico en la posición 6). Los homocigotos *AA*, sanos, producen hemoglobina normal, los homocigotos *aa* solían morir en la adolescencia (actualmente su esperanza de vida es de 48 años). Sus glóbulos rojos se rompen y su hemoglobina no puede cumplir la función de transportar sangre.

¿Cómo es posible entonces que el alelo *a* tenga una frecuencia que en algunas áreas en las que hay malaria llega a más del 20% de la población? La razón es que los heterocigotos *Aa* son prácticamente inmunes a la malaria, mientras que los homocigotos sanos *AA*

tienen muchas probabilidades de contraerla. Los heterocigotos producen los dos tipos de hemoglobina, lo que les permite llevar una vida normal, pues sólo tienen problemas si realizan ejercicio físico de mucho esfuerzo. Pero la hemoglobina falciforme dificulta la vida y reproducción del parásito. Este tipo de selección que mantiene la diversidad genética (o polimorfismo) en la población se conoce como equilibradora. En países donde parte de la población tiene origen africano hay una cierta proporción del alelo *a*; por ejemplo, en Cuba, un 3% en el conjunto de la población.

7a) *¿Pueden explicar el mecanismo por el que partiendo de dos poblaciones con la misma proporción del alelo a en una zona con malaria llega a haber más del 20 % y en una sin malaria llega a desaparecer?*

7b) *La mayoría de los pollitos de las gallinas de granja son de color amarillo o blanquecino. Las crías de aves de la misma familia que viven en libertad son pardas, moteadas y manchadas (color de camuflaje). Teniendo en cuenta que todos tienen los mismos antepasados, ¿cómo explicarían Darwin y Wallace que los de granja tengan color amarillo o claro? ¿Cómo lo explicaría Lamarck?*

Comentarios a7. El objetivo es aplicar el modelo de selección natural, las ideas clave expuestas y que se resumen en forma de mapa conceptual en la figura 4. Estas ideas suscitan problemas de aprendizaje: v*ariabilidad frente a uniformidad*. El alumnado ve como explicación posible que los individuos se transformen al no comprender que puede haber algunos que ya posean determinada característica (un color, resistencia, etc.). Aunque conocen las diferencias intraespecíficas, entienden la herencia como un mecanismo que conserva semejanzas, no *diferencias*. Recordemos la polémica entre los modelos clásico (mayoría de loci con homocigosis) y equilibrado (heterocigosis en gran número de loci). *Excesiva descendencia*: requisito para la supervivencia diferencial (si todos sobreviven, las proporciones se mantienen estables). La experiencia cotidiana –especie humana, animales domésticos– lleva a tener por normal que sobrevivan todas las crías. *Supervivencia diferencial*: es la idea clave para comprender la selección natural, pero está mucho más extendida la creencia en cambios individuales y graduales, "cada vez" "un poco más" (resistentes, oscuros etc.). *Cambios en la población*: alteraciones en las proporciones de diferentes genotipos. Probablemente una de las razones para interpretar las transformaciones como cambios individuales tiene que ver con las dificultades para conceptualizar procesos que, a escala de la vida humana, resultan imperceptibles.

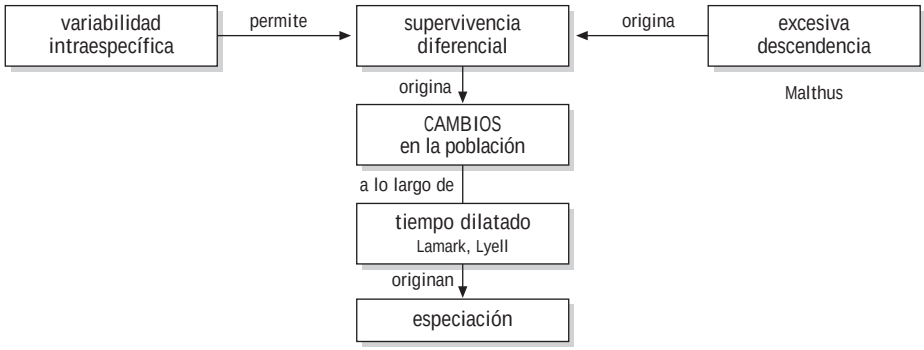


Figura 4. Mapa conceptual que sintetiza algunas ideas centrales del modelo de selección natural de Darwin y Wallace.

7a Pretende favorecer que el alumnado aplique el modelo de selección natural a un caso concreto. Partiendo de dos poblaciones iguales, en la zona con malaria sobrevivirían más heterocigotos *Aa* que en la zona sin malaria. Permite poner de manifiesto que un alelo o un carácter puede conferir ventaja o desventaja según el ambiente.

7b La experiencia muestra que es más difícil interpretar un caso en el que no se aprecia la ventaja (el color amarillo) que explicar el camuflaje. Es probable que una parte del alumnado lo explique por el color del alimento (maíz amarillo) o por influencia del color del ambiente (paja amarilla), lo que no tendría sentido, pues en la granja no ofrece ventaja camuflarse de posibles depredadores. Precisamente esa ausencia de depredadores y la disponibilidad de alimento es lo que permite que sobrevivan pollitos de colores claros y lisos que en el campo serían demasiado visibles. Animales con este carácter llegan a tener descendientes, y así la población en las granjas llega a tener una alta proporción de esos colores. Una vez más no cambian los individuos, sino las poblaciones en sucesivas generaciones. Se pide al alumnado que lo explique como lo haría Lamarck, porque es importante que tomen conciencia de que unos mismos datos pueden interpretarse con distintos marcos teóricos, que distingan entre las dos explicaciones.

Actividad 8. Los escarabajos - cuentas

Material para cada equipo:
– Un cuadrado de tela estampada (por ejemplo, un pañuelo bandana mexicano).
– Cuentas de vidrio pequeñas (de bordar) de dos colores, uno igual al fondo de la tela.

Los escarabajos-cuentas viven en prados floridos, se alimentan de polen y son comidos por pájaros, que devoran cada año la mitad de la población. Los escarabajos-cuentas se reproducen sexualmente una vez al año, en junio, produciendo cada pareja dos crías. Simularemos cuatro generaciones y sus ciclos de predación y reproducción.

Paso 1: Cuenten 20 cuentas azules y 20 rojas y échenlas al azar sobre el prado: 40 escarabajos.

Paso 2: Dos personas hacen de pájaros, que vuelan sobre el prado, capturando un escarabajo cada vez. Cada uno tiene que tomar los primeros 10 que vea en el menor tiempo posible.

Paso 3: Cuenten los escarabajos que quedan de cada color (anótenlos para compararlos con los de la clase). Para cada par añadan dos del mismo color (si hay uno impar, no se reproduce).

Paso 4: Repitan los pasos 2 y 3 tres veces más.

8a) *¿Cuántos quedan de cada color? ¿Qué color otorga una ventaja reproductiva? Explíquenlo y diseñen una prueba para comprobar su explicación.*

Comentarios 8a. Las simulaciones como ésta, adaptada de Bishop y Anderson (1986), facilitan la comprensión de ideas clave: que los "escarabajos" individuales no cambiaron, sino que lo han hecho las proporciones en la población. Si se ha utilizado, por ejemplo, tela azul, repetir el proceso usando tela roja –un ejemplo de la prueba que podrían diseñar los estudiantes– ofrece unos resultados opuestos.

Una vez que se han discutido las principales ideas del modelo de selección natural, y que el alumnado ha tenido ocasión de aplicarlas, puede decirse que disponen de una herramienta conceptual que permite abordar el problema de los insecticidas

planteado en 1a, interpretarlo en el marco del modelo de Darwin y Wallace y conceptualizarlo como un ejemplo de cambio biológico, de evolución que se da en la actualidad.

5. ¿PUEDE PROBARSE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN?

Actividad 9. Explicación de la resistencia según la selección natural

Lean de nuevo el problema planteado en la actividad 1. ¿Cómo explican ahora que los insecticidas matasen a la mayoría de los insectos hace años y ahora no?

Comentarios 9a. Es probable que, tras el trabajo con la herramienta conceptual que supone el modelo de Darwin y Wallace, una parte del alumnado sea capaz de explicarlo de forma acorde con él: algunos insectos eran portadores de un gen que los hacía resistentes (variabilidad) y, al estar expuestos al insecticida, estos resistentes son los únicos que quedan vivos (supervivencia diferencial). Por ello, son los que dejan más descendientes en la siguiente generación, pues al haber muerto los no resistentes no hay competencia por el alimento o el territorio. Sin embargo, la experiencia muestra que, a pesar del trabajo en el aula, seguirá habiendo una parte del alumnado que volverá a dar una explicación basada en que los insectos se "han acostumbrado" al insecticida, es decir en la idea de los cambios individuales y graduales. Por eso es importante volver a discutir el ejemplo explícitamente, así como en las actividades siguientes.

Actividad 10. ¿La resistencia se desarrolla igual en todos los insectos?

La resistencia no se desarrolla con la misma rapidez en todos los casos. Lean el siguiente párrafo de un trabajo de los investigadores mexicanos Adriana Flores, Mohammad Badii y Gustavo Ponce, en el que explican las diferencias entre el caso del mosquito, la vinchuca (o chinche triatomina), que transmite la enfermedad de Chagas, y la mosca tsé-tsé. *¿Pueden explicar qué importancia tiene en el desarrollo de la resistencia que la mosca tsé-tsé tenga pocas crías?*

"El número de poblaciones de insectos vectores resistentes es dependiente del volumen y frecuencia de aplicación de insecticidas utilizados para su control, además de las características inherentes de las especies involucradas. La mosca tsé-tsé por ejemplo, fue controlada de manera exitosa con rociados de DDT por muchos años, mas sin embargo, nunca se desarrolló resistencia a este insecticida. Otro ejemplo de un insecto vector exhibiendo poca o nula resistencia a insecticidas es la chinche triatomina. En ambos casos podría explicarse en particular debido al ciclo de vida largo de las chinches y la producción de pocos juveniles [*crías*] de mosca tsé-tsé. En contraste, los mosquitos tienen todas las características requeridas para un rápido desarrollo de resistencia, incluyendo ciclos de vida corto y alta fecundidad" (Flores, Badii y Ponce, 2001).

Comentarios a10. Se trata de una actividad opcional que el docente puede decidir realizar o no, dependiendo de factores como la edad del alumnado o el tiempo disponible. Su objetivo es poner de manifiesto la complejidad de estos procesos de cambio, así como la interacción entre las distintas dimensiones (variabilidad, descendencia numerosa, supervivencia diferencial). Si el número de crías es pequeño, como ocurre en la mosca tsé-tsé, la frecuencia de las supervivientes en relación con las nacidas es mayor, y por tanto el ritmo de cambio en la población más lento, pues el

que sobrevivan todos (o la mayoría de) los descendientes de las resistentes, al ser un número pequeño, no hará cambiar las proporciones de resistentes/no resistentes de la población de forma inmediata.

Actividad 11. Pruebas de la evolución

El desarrollo de las resistencias a insecticidas puede ser considerado como uno de los datos que prueban la teoría de la evolución; dicho de otra forma: un ejemplo de *cambio* en los seres vivos que se explica mejor con el modelo evolucionista de Darwin y Wallace que con ningún otro. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, a diferencia de teorías en otros campos científicos como la física que pueden ser probadas mediante experimentos, no ocurre lo mismo con la explicación evolucionista. Por una parte, las explicaciones de fenómenos ocurridos en el pasado, como puede ser la extinción de los dinosaurios, difícilmente puede ser "probada", en el sentido de que es un suceso único, irrepetible. Por otro lado, es imposible "observar" directamente o realizar experimentos en el laboratorio sobre la mayoría de los fenómenos evolutivos. Esto no significa que la teoría de la evolución (u otras que son reconstrucciones históricas) sea menos "científica", sino que sus métodos son distintos, y las pruebas que la apoyan, de carácter indirecto en muchos casos.

Además de ejemplos de cambio biológico en la actualidad, otras pruebas o datos que apoyan la teoría de la evolución son el *registro fósil*, la *distribución biogeográfica* de animales y plantas. Por ejemplo, Darwin observó que las especies de un lugar determinado de Sudamérica se parecían más a otras especies americanas que a las europeas; los dinosaurios africanos y americanos de épocas anteriores a la separación de ambos continentes son similares, mientras que los posteriores a la separación son diferentes; la *embriología*, que muestra semejanzas entre los embriones de especies próximas, o las *homologías* a las que ya nos hemos referido. La existencia de un código genético universal, es decir que las misma "palabra" o triplete de bases del ADN codifique el mismo aminoácido en todos los seres vivos, es algo difícilmente explicable por un modelo distinto al evolucionista.

11a)*¿Por qué se extinguieron los dinosaurios?*

A lo largo del siglo XX llegó a haber más de 40 hipótesis sobre las razones de la desaparición de estos animales, dominantes en la Tierra durante 150 millones de años. Latinoamérica, especialmente Argentina, es muy rica en fósiles o huellas de dinosaurios. Hace 65 millones de años, en el Cretácico, hubo una gran extinción en la que desaparecieron, junto con los dinosaurios, el 75% de las especies de plantas y animales. Algunas de estas hipótesis (Anguita, 1989) son:

- Cambios en la Tierra o el Sol; por ejemplo, cambios en la posición del eje de la Tierra que producirían un cambio climático o alteraciones en las manchas solares.
- Enfermedad: cataratas en los ojos, causadas por la elevación de temperatura, que originarían ceguera, imposibilidad de buscar alimento y muerte.
- Envenenamiento: por el agua o por algunas plantas que comían.
- Cambios en las especies: aumento del número de dinosaurios carnívoros que acabarían con los herbívoros (quedando sin alimento), o aparición de los mamíferos (muy pequeños) que devorarían sus huevos.
- Erupción volcánica: originaría una nube de polvo volcánico, oscureciendo la luz solar y cambiando la composición de la atmósfera. Desaparecería gran parte de la vegetación por falta de luz, y morirían muchos animales por falta de alimento.

– Impacto de un meteorito o asteroide que originaría incendios, tormentas, nubes de polvo meteorítico, oscurecimiento de la luz solar, frío, y las mismas consecuencias para vegetación y animales que la anterior.

En los años ochenta, la paleontología aportó datos que permitieron descartar muchas de esas hipótesis, quedando reducida la polémica a las dos últimas, que coinciden en el papel del oscurecimiento, diferenciándose en el origen. En 1980, el equipo de Walter Álvarez encontró niveles anormales de iridio (metal muy raro que suele proceder de meteoritos) en sedimentos de hace 65 millones de años, primero en Italia y después en múltiples lugares y países, y se emprendió la búsqueda de un cráter de gran tamaño que correspondiese a un meteorito capaz de causar efectos a escala de toda la Tierra. Diez años después, en México, en la península de Yucatán, se localizó un cráter de 175 km de diámetro de una antigüedad de 65 millones de años.

Expliquen qué importancia tiene que hubiera niveles altos de iridio en muchos países. ¿Apoyaría la hipótesis del meteorito que sólo los hubiese en uno? ¿Es posible probar esta hipótesis con experimentos? ¿Qué importancia tiene la edad de los sedimentos con iridio? ¿puede aparecer en el futuro otra hipótesis mejor?

11b) En Nueva Zelanda, como en Australia, hay mamíferos marsupiales (en los que las crías pasan la última parte del desarrollo en una bolsa o marsupio), y no mamíferos placentarios (las hembras poseen placenta, lo que permite el desarrollo completo del embrión en el interior del útero). Hay, sin embargo, una excepción: los murciélagos.

¿Pueden proponer alguna explicación a la ausencia de mamíferos placentarios en Nueva Zelanda? ¿A qué tipo de pruebas de la evolución corresponde? ¿Pueden proponer una explicación a la presencia de murciélagos?

11c) Se llaman órganos vestigiales a los que, en algunas especies, no llegan a desarrollarse para cumplir una función, interpretándose como un vestigio (huella o recuerdo) de un órgano existente en los antepasados. Un ejemplo es la cola en el embrión humano; otro, las extremidades posteriores atrofiadas en las ballenas.

¿Pueden poner algún otro ejemplo de órgano vestigial? ¿A qué tipo de pruebas de la evolución corresponde?

Comentarios a 11. El modelo de evolución por selección natural presenta algunos rasgos *metodológicos* que son específicos de la construcción del conocimiento biológico (y geológico), pero que difieren de los utilizados por ejemplo en física, lo que llevó a contemporáneos como Kelvin a poner en duda su carácter científico. Uno de estos rasgos metodológicos es la *reconstrucción histórica*: la investigación sobre evolución persigue reconstruir el orden de sucesos y fenómenos irrepetibles ocurridos en el pasado, así como elaborar modelos explicativos de las pautas identificadas en ellos. Aunque no sea posible "probar" que una explicación histórica es "cierta", su aceptación se produce cuando las pruebas disponibles la apoyan. Otro es la *naturaleza de las pruebas*: es imposible realizar experimentos sobre la mayor parte de los fenómenos evolutivos, ni puede ser *observada* directamente.

11a. Pretende mostrar la aplicación de estas metodologías en un caso que resulta muy motivador para el alumnado. Si en la localidad hubiese algún museo (o yacimiento) paleontológico sería deseable realizar una visita. Los estudiantes discutirán cómo si la presencia de iridio estuviese localizada en un país indicaría el impacto de un meteorito pequeño, no de uno capaz de producir una nube que oscurezca la luz del

Sol. Lo mismo ocurre con la edad de los sedimentos (y del cráter), coinciden con la extinción de los dinosaurios. Es importante, finalmente, dejar claro que ésta no es la teoría "definitiva", sino la mejor de las disponibles.

11b y 11 c. Son ejemplos de pruebas indirectas, la primera de tipo biogeográfico, la segunda embriológico. La explicación de la ausencia de placentarios en Nueva Zelanda es la misma que la indicada para Australia en a6: los murciélagos, a diferencia de otros mamíferos, pueden volar y desplazarse a mayores distancias. En cuanto a otros órganos vestigiales, un ejemplo es el apéndice en los seres humanos, otro, los ojos atrofiados en animales que viven en cuevas.

6. LA EVOLUCIÓN HUMANA

Éste fue el aspecto en el que las ideas evolucionistas encontraron mayor resistencia, pues a los seres humanos les costaba trabajo admitir que no eran una especie creada aparte, sino emparentada con el resto de los animales y con el resto de los seres vivos. La polémica fue muy grande, y los que se oponían a la evolución acusaban a los evolucionistas de decir que el ser humano descendía del mono, haciéndose famosa una caricatura de Darwin que lo representaba con rasgos de simio. Por supuesto que los evolucionistas nunca sostuvieron que el ser humano descienda de los monos actuales, sino que ambos tienen antepasados comunes.

No tenemos la misma relación de parentesco con todos los primates (orden de mamíferos al que pertenece el ser humano). Para determinar cuáles son más cercanos se utilizan datos anatómicos, por ejemplo, compartimos con chimpancé, gorila y orangután (los grandes simios antropomorfos) características como la ausencia de cola, el tipo de muelas o la posición de los omóplatos. Una forma de estimar el grado de parentesco es el análisis citológico y molecular; así, por ejemplo, el ser humano tiene 23 pares de cromosomas, y chimpancés y gorilas 24 pares. Al descifrarse el genoma humano en 2001, se ha comprobado que de los 30.000 genes que tenemos, compartimos un 99,4% con los chimpancés. Aún más preciso es el llamado *reloj molecular*: el análisis de proteínas como hemoglobina, mioglobina o fibrinopéptidos ha permitido comprobar la correlación entre las diferencias en el número de aminoácidos y el parentesco entre las distintas especies. Un ejemplo, para la cadena de la hemoglobina, que tiene 141 aminoácidos (a.a), se representa en la figura 5.

diferencias entre el ser humano y	Nº de a.a. distintos
chimpancé	0
gorila	1
monos japoneses	4
cerdo	20
perro	23
caballo	26
rana	62

Figura 5. Número de aminoácidos distintos entre el ser humano y otras especies.

Otras proteínas, como el citocromo C o los fibrinopéptidos, son idénticas en ser humano, chimpancé y gorila; la mioglobina difiere en un solo aminoácido. Basándose en estos y otros datos, la representación de parentesco entre los tres podría representarse en el diagrama de la figura 6 (y nunca gorila → chimpancé → seres humanos).

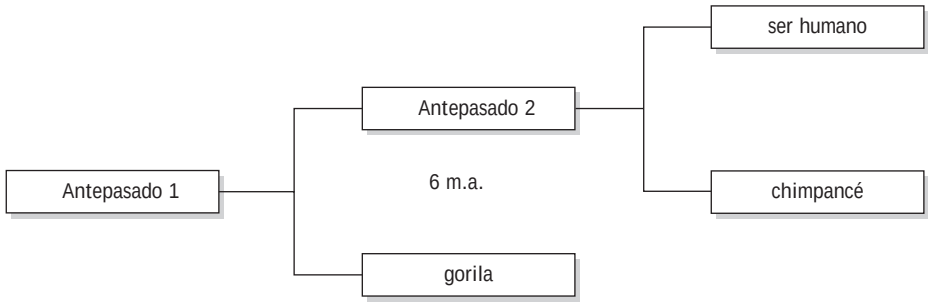


Figura 6. Relaciones filogenéticas entre ser humano, chimpancé y gorila.

Los seres humanos y los chimpancés comparten muchas características biológicas. ¿Cuáles son las principales diferencias? En primer lugar, la *marcha bípeda*, caminar sólo sobre las dos extremidades posteriores. Nuestros antepasados hace 4 m.a., los australopitecos, caminaban sobre dos pies, aunque parece que no disponían de *lenguaje*, que requiere el desarrollo tanto de ciertas áreas del cerebro como de un aparato fonador en faringe y laringe. Otras diferencias, además de marcha bípeda y lenguaje articulado, son la mayor capacidad craneana, el pie no prensil, el desarrollo infantil más largo y menores diferencias de tamaño entre los dos sexos, un 10% en vez del 30%.

En cuanto a los antepasados más directos de los seres humanos actuales (*Homo sapiens*), los descubrimientos de fósiles en las últimas décadas están permitiendo la reconstrucción de su árbol genealógico, representado en la figura 7. Uno de los yacimientos que ha proporcionado nuevos datos es el de Atapuerca, en España, pues en él se ha encontrado lo que se considera una nueva especie: *Homo antecessor* (Bermúdez et al., 2004), que resulta importante en la polémica sobre el origen único o múltiple de los humanos actuales.

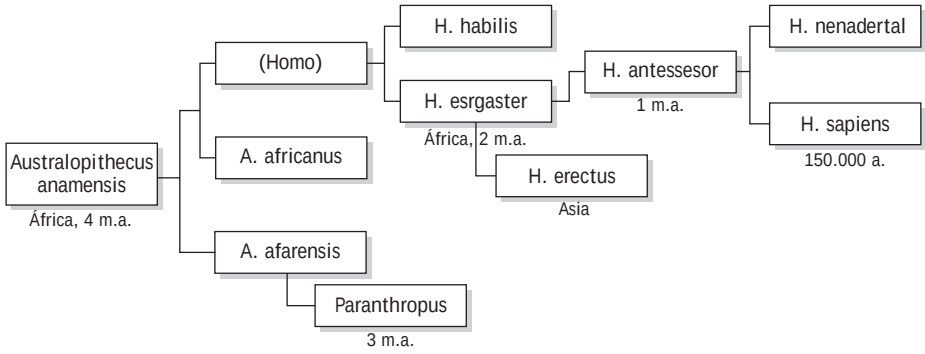


Figura 7. Los homínidos fósiles y el ser humano (Según Bermúdez et al, 2004, modificado).

Actividad 12. ¿Existe el "eslabón perdido"?

Desde la publicación de las teorías de Darwin y Wallace hasta principios del siglo XX se hablaba de encontrar un "eslabón perdido" intermedio entre el hombre y los monos, y muchos suponían que debería tener un aspecto más "humano" y menos "simiesco". Cuando Raymond Dart descubrió, en 1925, el *Australopithecus africanus* y afirmó que se trataba de un antepasado del ser humano, pocos le creyeron (Arsuaga, 2002), pues se parecía demasiado a un mono. Se suponía en esa época que la inteligencia y el lenguaje habían precedido a la marcha bípeda, mientras que, por lo que podemos deducir de los homínidos fósiles, fue al contrario.

12a) *Según los diagramas de las figuras 17 y 18, ¿creen que hay un "eslabón perdido" entre el ser humano actual y los simios antropomorfos como chimpancé o gorila?*

12b) *¿Puede decirse que todos los homínidos fósiles cuyos nombres aparecen en la figura 7 son antepasados del ser humano? ¿Si no son todos, cuáles? ¿Es el hombre de Neandertal antepasado nuestro? Justifiquen las respuestas.*

En los ochenta, dos teorías rivalizaban en explicar los fósiles del género Homo, en especial cómo de un solo género habían surgido tres variantes: la multirregional y la de la Eva Negra. Según la multirregional, los *Homo erectus* originarían las poblaciones asiáticas y americanas o "amarillos"; los Neandertales, las caucásicas o "blancos", y los fósiles africanos, las poblaciones de raza negra, y sus relaciones habrían impedido que se formasen especies distintas. Según la hipótesis de la Eva Negra, habría tres especies separadas, y los *Homo sapiens* (aparecidos en África) habrían sustituido a las otras dos. Ambas hipótesis suponen que los primeros homínidos aparecieron en África, y la segunda, que todos los humanos actuales procedemos de antepasados africanos que salieron de África en una segunda migración.

12c) *¿Por qué se dice que el descubrimiento de* H. antecessor *en Atapuerca apoya la hipótesis de Eva Negra?*

Comentarios a 12. Las actividades pretenden incidir en una confusión frecuente: identificar como antepasados de los humanos a todos los homínidos fósiles. Igual que en otros organismos, hay muchos de estos fósiles que corresponden a géneros o especies que se extinguieron, ya que la evolución de un grupo es más parecida a un "árbol" que a una serie lineal. No hay un "eslabón perdido" (12a), ya que seres humanos y monos presentan especializaciones muy distintas, lo que hay son antepasados comunes, en plural (uno o varios con los gorilas, y otro u otros más con los chimpancés). Por una razón semejante, sólo los homínidos marcados con trama son antepasados nuestros (12b), los otros son ramas colaterales que se extinguieron. Los Neandertales son parientes del ser humano actual, no antepasados.

En cuanto a 12c, es una actividad opcional, que puede realizarse o no. El *H. antecessor* (forma intermedia entre *H. ergaster* y *H. sapiens*) es también antepasado de los Neandertales, mostrando que no hubo intercambios entre estos y el H. erectus que contribuyesen a originar los humanos actuales.

Actividad 13. ¿Por qué hemos perdido olfato?

La secuencia del genoma humano, en 2001, ha deparado algunas sorpresas. Por ejemplo, las diferencias en el número de genes entre el ser humano (unos 30.000, no los 100.000 previstos) y un gusano (20.000) no es tan grande como se creía. Otra es la gran cantidad de ADN (llamado "basura") que no codifica proteínas, sino que, tras copiarse una y otra vez y experimentar mutaciones, queda inutilizado. Así, para el olfato:

"(nuestros) antepasados usaban alrededor de 1.000 genes en relación con el olfato. Pero en los últimos 10 millones de años, alrededor de 600 de esos genes de los receptores olfativos se han perdido. El genoma humano indica que nuestro sentido del olfato ha disminuido. Normalmente, cuando un gen no se necesita es rápidamente destruido al copiar errores" (Mark Ridley, TLS, 19 octubre 2001).

¿Cómo explican ese cambio en los genes del olfato?

Comentarios a 13. Pretende aplicar una vez más el modelo de selección natural. Un olfato fino tendría gran valor adaptativo para la vida en la naturaleza, dependiendo de él la búsqueda de alimento, la caza o la huida de los depredadores. Al vivir en sociedad y a medida que los humanos se hacen agricultores y ganaderos, su valor para la supervivencia se pierde, por lo que sobrevivirían igual los que tuviesen olfato bueno o malo.

Un excelente recurso para trabajar la evolución humana es la página web sobre Atapuerca (www.ucm.es/info/paleo/ata/) de la Universidad Complutense de Madrid.

7. EVOLUCIÓN Y MEDIO AMBIENTE: LA RESISTENCIA A INSECTICIDAS Y ANTIBIÓTICOS

Hemos tratado en esta unidad los problemas causados por la resistencia a los insecticidas, pero *¿cómo enfrentarse a ellos?*

Entre las sugerencias se cuentan la sustitución de un insecticida A inefectivo por otro B más efectivo, pero esto sólo soluciona el problema temporalmente, hasta que se incrementa en la población la resistencia a B, ya que la exposición prolongada a B llevará a que sobrevivan únicamente los resistentes. Otro método es el uso de mezclas de dos insecticidas de acción independiente, o la alternancia (rotación) de insecticidas, de forma que mientras se usa uno disminuye la resistencia al otro. Lo que no debe hacerse es aumentar la dosis o la frecuencia de aplicación indicadas en la etiqueta, pues pueden causarse daños a la salud de las personas, sin conseguir mejores resultados.

En todo caso, lo importante es la *prevención*; es decir, no usar un solo insecticida y esperar a la aparición de resistencia, sino utilizar sistemáticamente mezclas y rotación, lo que retarda el desarrollo de resistentes.

Un mecanismo semejante a la resistencia a insecticidas en los insectos es la resistencia a los antibióticos en bacterias. En este caso, el problema se agrava por la enorme cantidad de descendientes y la rápida sucesión de generaciones, que hacen mucho más rápido el ritmo del cambio biológico. Además, las bacterias pueden intercambiarse material genético (por ejemplo, de resistencia a antibióticos), con lo que las resistencias se amplifican. Las prácticas inadecuadas en el uso de antibióticos, por ejemplo utilizarlos sin receta, para dolencias menores, o para enfermedades causadas por virus (para las que no son efectivas) y sobre todo su uso para engordar el ganado (casi la mitad de los antibióticos producidos en países desarrollados tienen este fin), son responsables de una parte de la difusión de las resistencias. Por ejemplo, la tuberculosis ha pasado de considerarse controlada a constituir una amenaza a escala mundial.

Una cuestión especialmente preocupante es la introducción en cultivos transgénicos de genes que codifican proteínas de acción insecticida, como un gen de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis* (Bt). Como señala Riechmann (2000), igual que el uso externo

de insecticidas ha hecho aumentar las resistencias, lo mismo puede ocurrir al introducir el insecticida en la propia planta, ya que por selección natural sobrevivirán los que poseen defensas naturales, desarrollándose cada vez más cepas resistentes. También es causa de preocupación la introducción en las plantas de genes que inducen resistencia a antibióticos, en este caso sólo como marcadores, es decir para facilitar el proceso tecnológico de manipulación genética. Las resistencias a antibióticos son causa de muchas muertes cada año, por lo que esta práctica conlleva graves riesgos y debe ser sustituida por el uso de otro tipo de marcadores.

Actividad 14. Recapitulación

14a) *La moda de introducir agentes antibacterianos en jabones, detergentes y otros productos de uso doméstico, ¿favorece o previene el desarrollo de cepas resistentes?*

14b) "El microbio que provoca la tuberculosis contraataca cuando la mayoría de los países industrializados creían derrotada la enfermedad. El *Mycobacterium tuberculosis*, que fue una plaga a principios de siglo, vuelve reforzado por el aprendizaje de décadas en contacto con antibióticos. Este desembarco de cepas resistentes a un extenso arsenal de medicinas preocupa a los investigadores" (diario *El País*, 5-10-1992).

Analicen esta noticia: ¿Es correcto decir que la bacteria vuelve reforzada por el aprendizaje de décadas en contacto con antibióticos? ¿Cómo lo explicarían?

Comentarios a 14 y recapitulación. El objetivo es aplicar el modelo aprendido en insectos a las resistencias a antibióticos. (14 a) Igual que en otros casos, la introducción de agentes antibacterianos favorece el desarrollo de cepas resistentes a ellos. Hay que aceptar a las bacterias como parte de nuestro medio; en una flora bacteriana normal, la proporción de resistentes es mínima, pero el uso de antibacterianos y antibióticos ejerce una presión selectiva que lleva al aumento de su proporción.

El análisis de noticias de prensa, como la de 14b, puede ser productivo tanto para discutir la frecuencia de las interpretaciones antropomórficas y "lamarckistas" como para poner de manifiesto que la selección natural no es cosa del pasado y que tiene grandes implicaciones sociales.

Cada docente puede organizar las actividades de la propuesta del modo que crea más conveniente, no necesariamente en la secuencia en la que aquí se presentan. Una posibilidad es también proponer la primera actividad al alumnado y proporcionarles los materiales como "documentación", de forma que vayan construyendo sus respuestas bajo la dirección del profesor o profesora.

Agradecimientos: El trabajo de conceptos y modelos con problemas auténticos forma parte del proyecto financiado por el MCYT, código BSO2002-04073-C02-02, parcialmente financiado con fondos FEDER. La propuesta didáctica ha sido elaborada expresamente para este libro.

Referencias bibliográficas en este programa de actividades

ANGUITA, F. (1989). *Los últimos dinosaurios*. Madrid: S M.

ARSUAGA, J. L. (2002). Veritas Praevalebit. El hombre y el mono. *Ars Medica. Revista de Humanidades Médicas*, 1, 24-34. (Versión electrónica disponible en la web).

BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M. et al. (2004). *Hijos de un tiempo perdido*. Barcelona: Crítica.

BISHOP, B. y ANDERSON, C. (1986). Evolution by Natural Selection: a teaching module. Occasional paper 91, Institute for Research on Teaching, Michigan State University.

DUSCHL, R. A. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias: la importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea.

FLORES, A., BADII, M. y PONCE, G. (2001). Resistencia a insecticidas en insectos vectores de enfermedades, con énfasis en mosquitos. RESPYN, 2 (4). (Versión electrónica disponible en la web).

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1991). Cambiando las ideas sobre el cambio biológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), 248-256.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (2003). El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas. En Jiménez (Coord.), *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Graó.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (2004). El modelo de evolución de Darwin y Wallace en la enseñanza de la Biología. *Alambique 42* (en prensa).

MAYR, E. (1998). *Historia do pensamento biolóxico. Diversidade, evolución, herdanza*. Santiago de Compostela: Servicio de Publicacións da Universidade de Santiago.

RIECHMANN, J. (2000). *Cultivos y alimentos transgénicos. Una guía crítica*. Madrid: Los libros de la Catarata.

SOBER, E. (1996). *Filosofía de la Biología*. Madrid: Alianza.

Otras Voces

Captando Información

Valentín Gavidia, Mª José Rodes, Fernando Tejerina, Enrique Guillén, Ascensio Carratalá y Julia Sanz

Comentario preliminar. Éste es uno de los temas fundamentales sobre el cuerpo humano, por lo que forma parte de los estudios básicos del alumnado, de manera que es posible que muchos de los conceptos que se examinan en este capítulo hayan sido introducidos con anterioridad. No obstante, aquí se presentan con mayor detenimiento y desde nuevas perspectivas, como son:

a) la bioquímica, necesaria para entender la universalidad del impulso nervioso;

b) la de explorar las diferentes soluciones que la naturaleza ofrece al problema de la recepción de estímulos, contribuyendo a una mejor comprensión de la evolución animal;

c) la de considerar pautas higiénicas en función de los conocimientos de anatomía y fisiología adquiridos, de manera que faciliten la adopción de conductas saludables.

De esta forma, no se pone el énfasis en la anatomía de los órganos de los sentidos**,** por ser algo que se considera ya sabido por los alumnos, y sólo se recuerdan aquellos elementos que resultan indispensables para dar paso a otros aspectos de mayor interés en este nivel de conocimientos del alumnado.

El posible atractivo para el profesorado en un tema como el presente radica en el hecho de poder presentarlo en el aula, no desde un punto de vista descriptivo-tradicional, sino de forma que se sugieran búsquedas e interpretaciones que puedan llevar a los estudiantes a emitir hipótesis explicativas y luego tratar de contrastarlas.

INTRODUCCIÓN

El conjunto de los sentidos forma un mundo apasionante y complejo por el que el hombre ha sentido fascinación desde la antigüedad. Así, ya los filósofos griegos del siglo VI a.C. distinguían entre razón y sentidos, y Heráclito expresaba que "el conocimiento llega al hombre a través de la puerta de los sentidos"; esto es, los órganos de los sentidos, formados por diferentes estructuras, recogen impresiones que luego trasladan al cerebro.

Lo especial del *Homo sapiens*, que lo hace diferente del resto de las especies, se concentra en el cerebro, y su principal característica es la capacidad de aprender. Esto es posible por la información que le llega y por sus enormes posibilidades de asociación.

Pero... ¿Todos los seres vivos poseemos los mismos órganos de los sentidos por donde entran los mensajes? ¿Todos vemos igual, con los mismos colores, apreciamos los mismos sabores, distinguimos los mismos sonidos?

¿Son importantes los sentidos para el mantenimiento y evolución de la vida sobre la Tierra?

A realizar una aproximación a este mundo de los sentidos vamos a dedicar nuestra atención.

A.1. Importancia de la función de relación

Los seres vivos presentan una gran complejidad, un alto grado de organización y una variedad asombrosa. Para su existencia y manifestación realizan tres funciones vitales: nutrición, reproducción y relación.

Mediante la nutrición extraen y transforman la energía de su entorno para edificar y mantener sus propias estructuras, moverse y realizar trabajos.

Gracias a la reproducción consiguen multiplicarse y su información genética se perpetúa en el tiempo, aunque mantienen la capacidad de sufrir alteraciones que les permiten adaptarse a las exigencias de un entorno cambiante.

La tercera función es la de relación a la que vamos a prestar nuestra atención. Para empezar el estudio podemos hacernos las siguientes preguntas:

¿En qué consiste la función de relación?

¿Qué importancia tiene en los seres vivos y por qué es necesaria?

¿Qué órganos o estructuras intervienen en su actividad?

Si construyéramos un ser vivo de nuestra invención, ¿cómo diseñarías su capacidad de relacionarse con el exterior?, ¿qué órganos de los sentidos le otorgarías?, ¿dónde los ubicarías?

Comentarios A.1. La función de relación es una de las tres funciones vitales que realizan los seres vivos, por medio de la cual son capaces de recibir estímulos, tanto del exterior como del interior del organismo, y reaccionar frente a ellos. En su realización intervienen los órganos de los sentidos, el sistema nervioso y el sistema hormonal.

Cuando se comenta la importancia de esta función se observa que sin ella es imposible la vida, pero la discusión puede derivar con facilidad hacia la especie humana señalando que es precisamente esta función de relación la que nos diferencia del resto de seres vivos: la forma en la que procesamos e integramos la información ha dado lugar a nuestra evolución cultural.

Comprender la función de relación requiere tener en cuenta aspectos que han ido conformando las características de nuestra especie, que responden a nuestro afán de comunicarnos, de comprender el mundo que nos rodea y a nosotros mismos.

Sin los órganos de los sentidos ello no sería posible, ya que son las ventanas por donde entra la información que debemos procesar. Sin ellos no podríamos saborear los alimentos, ni comunicarnos con los demás, ni huir del enemigo o percibir el agua de lluvia. Perderíamos la capacidad de recibir las señales externas que nos advierten de los peligros y seríamos más vulnerables, pero también la posibilidad de desarrollar nuestra sensibilidad y disfrutar de todo aquello que nos rodea.

Pero esto no es todo, ya que también recibimos avisos del interior de nuestro cuerpo. Sabemos que algo no funciona bien en el estómago porque nos duele, que el corazón late más deprisa cuando corremos, que las amígdalas están inflamadas y nos cuesta tragar, etc. Esto es posible porque poseemos receptores internos que nos transmiten cierta información del estado general de nuestro organismo.

La actividad de construir un ser vivo imaginario se presta al debate pues son muchas las variables a tener en cuenta: tamaño, lugar donde habita, forma de vida, etc. Ello condiciona la ubicación de los órganos de los sentidos y su concreción y definición permite elaborar un posible organismo viable. Podemos hacer el ejercicio de partir de algunos de los animales ya existentes y hacer una prospección sobre su posible evolución (Dixon, 1982).

A.2. La función de relación en las plantas

Las plantas, al igual que los animales, son seres vivos y como tales realizan su función de relación. De los animales conocemos diferentes órganos de los sentidos, ya que algunos son ostensibles y patentes, pero quizás desconozcamos lo que ocurre en el mundo vegetal.

¿Poseen órganos de los sentidos las plantas? ¿Por qué? ¿De qué forma realizan la función de relación? ¿Puedes señalar algún ejemplo?

Comentarios A.2. Es probable que los estudiantes desconozcan cómo realizan los vegetales la función de relación, ya que no tienen órganos de los sentidos, ni sistema nervioso, pero no por ello dejan de reaccionar ante los estímulos externos. Los tropismos son un buen ejemplo de ello.

Explicar estas situaciones relacionándolas con las hormonas vegetales y estableciendo las diferencias con los animales por la inexistencia de sistema circulatorio (poseen sistema de transporte) y distintos órganos de secreción en vegetales, permite entender el funcionamiento de la vida de relación de todos los seres vivos y no sólo la de los animales.

A.3. Concretando el tema de estudio

La función de relación abarca una serie de procesos en los que intervienen estructuras importantes del organismo, como el sistema nervioso, el sistema hormonal y los órganos de los sentidos. Ahora bien, el motivo fundamental del presente tema se focaliza en la forma por la que obtenemos la información del exterior.

¿Qué preguntas podemos hacernos para conocer mejor los sentidos?

Comentarios A.3. Cabe esperar que las cuestiones de los estudiantes se centren en torno a los sentidos, a su anatomía, su funcionamiento, los problemas asociados a sus disfunciones por las que la relación con el mundo exterior se altera, las soluciones a los mismos, los cuidados necesarios para una correcta higiene, la necesidad de hábitos de vida saludables, etc.

De esta forma puede configurarse un posible índice o hilo conductor del tema, que puede quedar como sigue:

- El sistema nervioso y la función de relación.
- El ojo y el sentido de la vista.
- El oído. Audición y equilibrio.
- La nariz y el sentido del olfato.
- La lengua y el sentido del gusto.
- La piel y el sentido del tacto.
- Recapitulación y conclusiones.

En cada uno de estos apartados se procurará estudiar la anatomía, la fisiología y otros aspectos que pueden haber sido señalados por los estudiantes.

Así pues, y antes de avanzar en el desarrollo del tema, conviene que ellos conozcan el índice de trabajo y vean reflejadas sus propuestas de aprendizaje.

EL SISTEMA NERVIOSO Y LA FUNCIÓN DE RELACIÓN

Vamos a centrarnos en el mundo animal y, en concreto, en los órganos de los sentidos. Para entender su funcionamiento debemos conocer la fisiología del sistema nervioso, esto es: cómo se estimula una célula nerviosa, en qué consiste este estímulo y cómo se transmite el impulso nervioso de una célula a otra. Aunque esto se estudia con mayor detenimiento en el sistema nervioso, nos adentramos en este campo para entender mejor el funcionamiento de los sentidos.

A.4. Receptores sensoriales en los animales

Los receptores sensoriales son estructuras nerviosas especializadas capaces de captar los cambios que se producen a su alrededor. Hay varios tipos y cada uno de ellos es sensible a un estímulo determinado.

Los receptores pueden estar agrupados y forman los órganos de los sentidos, o bien pueden encontrarse repartidos por el cuerpo. Según el estímulo que perciben los podemos dividir en:

- Mecanorreceptores: que reconocen estímulos mecánicos y detectan movimientos, contactos, etc.
- Quimiorreceptores: que responden a sustancias químicas.
- Fotorreceptores: que son activados por la energía luminosa.
- Termorreceptores: que detectan variaciones de temperatura.
- Nocirreceptores: que actúan ante cambios intensos de uno o varios tipos de energía que pueden significar un peligro para el organismo, como es el caso de los receptores que son sensibles al dolor, tanto externos como internos.

¿Puedes decir, para cada órgano de los sentidos del cuerpo humano, de qué tipo de receptores sensoriales está compuesto y qué capacidad sensitiva desarrolla? Resume tu información presentándola en una tabla de tres columnas.

Comentarios A.4. Esta actividad es la concreción de la anterior y se trata de relacionar los órganos con el tipo de estímulos que percibe y, por tanto, con la clase de receptor sensible.

SENSACIÓN	ÓRGANO	NATURALEZA DEL RECEPTOR
Vista	Ojos	Fotorreceptores
Audición	Oído	Mecanorreceptores
Equilibrio	Oído (C. semicirculares)	Mecanorreceptores
Olfato	Nariz	Quimiorreceptores
Gusto	Lengua	Quimiorreceptores
Presión, cosquillas	Piel	Mecanorreceptores
Frío, calor	Piel	Termorreceptores
Dolor, presión	Piel	Nocirreceptores externos
Dolor interno	Distribuido por el interior del cuerpo	Nocirreceptores internos

Como vemos, aunque son cinco los órganos que reciben las sensaciones, éstas son más de cinco, por lo que el número de posibles sentidos es mayor, y así podemos hablar del sentido del equilibrio, del frío, del calor, etc.

A.5. Umbral de percepción

Vamos a realizar una actividad sobre el umbral de percepción de los sentidos. Para ello, y con los ojos cerrados, extiende una mano. Un compañero o compañera situará un folio en la palma de tu mano e irá poco a poco añadiendo folios de uno en uno. Debes tratar de señalar en qué momento deja caer cada nuevo folio. Realiza la misma operación pero, en lugar de agregar un folio cada vez, añade un buen grupo de folios.

¿Notas la diferencia que existe cuando depositan un folio y cuando agregan una mayor cantidad?
¿Podrías, basándote en este símil, explicar a qué llamamos umbral de percepción de un receptor sensorial?

Comentarios A.5. Hay que recordar que los órganos de los sentidos están formados fundamentalmente por acumulaciones de células sensitivas, que poseen unos determinados intervalos de percepción, de forma que por debajo del mínimo no lo acusan y por encima del máximo se saturan. Esto es, se adaptan o saturan a un determinado estímulo, dejando de actuar ante él.

A.6. ¿Dónde identificamos nuestras sensaciones?

Los estímulos que recibimos son físicos, químicos, lumínicos..., pero nosotros reconocemos el suave roce de una pluma, el aroma de una flor, o los colores del arco iris, esto es: los estímulos se materializan en objetos, situaciones o sujetos concretos.

Esta transformación del estímulo**,** ¿se da en el propio órgano del sentido? Esto es, la identificación de una determinada sensación del tacto, ¿tiene lugar en la propia piel? ¿Caracterizamos el olor que nos llega como el de una rosa en la propia nariz? ¿La identificación de unos colores o de unas formas ocurre en el mismo ojo?

¿Dónde supones que tiene lugar esta transformación?

¿Cómo puedes demostrar tu suposición?

Comentarios A.6. Los estímulos son recibidos por los sentidos, pero éstos se convierten en una imagen, en un sonido, en un concepto, cuando les damos sentido, esto es, cuando llegan al cerebro y allí son interpretados y asociados a ideas, recuerdos, otras sensaciones o determinadas respuestas. Es decir, son traducidos a las diferentes sensaciones.

La demostración de este fenómeno puede llevarse a cabo de varias maneras: a) animales que han sufrido algún golpe en el cerebro, o tienen alguna afección, poseen dificultades para ver, oír, oler, etc. dependiendo del lugar afectado en el cerebro, lo que se comprueba con las autopsias de animales que poseen algún sentido dañado. b) un mismo estímulo (lumínico, sónico, químico, etc.) unas veces es interpretado de una manera y otras veces de otra, aún tratándose del mismo estímulo, ya que depende de la historia personal de cada individuo.

A.7. Transmisión del estímulo

Los estímulos sensoriales son recibidos por los diferentes órganos de los sentidos, pero hemos visto que éstos, de alguna manera, viajan al cerebro donde les damos significado.

¿Qué estructuras conectan los órganos de los sentidos y el cerebro de manera que permiten el viaje del estímulo? ¿Cómo tiene lugar este desplazamiento del estímulo?

Comentarios A.7. Los estudiantes de este nivel conocen que las unidades básicas del sistema nervioso son las neuronas, especializadas en transmitir los mensajes como impulsos a otras neuronas, músculos o glándulas. Los axones de las neuronas, debidamente agrupados forman los nervios, que pueden ser sensitivos o motores. En nuestro caso, las estructuras que conectan los sentidos con el cerebro son los nervios sensitivos.

Los estudiantes pueden pensar que la percepción de los objetos tiene lugar en el propio órgano sensorial, de forma que a través del nervio y en su desplazamiento hacia el cerebro viajan las pequeñas campanas que hemos oído, las pequeñas mesas que estamos viendo o pequeñas porciones de la comida que estamos ingiriendo.

Es momento de introducir o recordar el funcionamiento general de los sentidos, de las neuronas y cómo se transmiten por los nervios los estímulos: la transducción sensorial, el potencial de acción, la despolarización de la membrana sensorial, la dirección única de los estímulos, la comunicación sináptica y la actuación de la mielina (Guyton, 1998).

Este aspecto del presente tema de los sentidos presenta ciertas dificultades de comprensión para los estudiantes, de forma que suele derivar en la construcción de errores conceptuales que debemos tener en cuenta. Para ello señalamos de interés la lectura de artículos como los de Perales (1997); Saura y De Pro (1999); Pérez Rodríguez y otros (2003);); Gil y otros (2003); Ors (2004); Bravo y Rocha (2004), etc.

A.8. Los caminos de los estímulos sensoriales

Los diferentes estímulos, químicos, lumínicos, mecánicos, etc., recibidos en los órganos de los sentidos son convertidos por ellos en señales nerviosas mediante lo que se denomina transducción sensorial. Estos estímulos nerviosos, consistentes en la despolarización de la membrana de las neuronas (Berkaloff et al., 1983), son conducidos por los nervios sensitivos (procedentes de los órganos de los sentidos o receptores sensoriales) hacia los centros nerviosos y, fundamentalmente, llegan al cerebro.

Conviene ahora mencionar cómo está organizado el sistema nervioso. Por ello, puedes señalar, aunque sea brevemente, su organización.

Realiza el siguiente ejercicio: Apóyate con un brazo contra la pared e intenta subirlo con todas tus fuerzas. Tras un par de minutos de esfuerzo, sepárate y deja el brazo relajado. ¿Qué le ocurre a tu brazo? ¿Puedes explicarlo? ¿Se trata de un acto reflejo o voluntario?

Comentarios A.8. Puede resultar interesante que los alumnos recuerden, ayudándose con esquemas o ilustraciones, que el sistema nervioso se divide en periférico y central. Que el periférico está formado por los nervios sensitivos y motores, mientras que el central lo componen el encéfalo (formado, a su vez, por cerebro, cerebelo y bulbo raquídeo) y la médula espinal. A los centros nerviosos llegan y de ellos salen los diferentes nervios. Asimismo, pueden comentar las diferencias entre el sistema autónomo (simpático y parasimpático) y el voluntario.

La diferencia fundamental entre el acto reflejo y el voluntario estriba en que en el primero el impulso nervioso llega a la médula espinal y allí mismo se elabora la respuesta, sin necesidad de pasar por el cerebro, mientras que en el voluntario, indefectiblemente, pasa por el cerebro, donde la respuesta es más elaborada y acorde a los estímulos recibidos. La información captada por los sentidos se dirige al cerebro, donde se procesa; sólo en los casos en los que la información consista en una señal de alarma para el organismo, como es el caso del dolor, y por lo tanto se requiera de una respuesta rápida, se dirige directamente a la médula espinal, formando un acto reflejo.

No todos los actos involuntarios son actos reflejos, como se demuestra en la actividad del brazo. Podría pensarse que el levantamiento del brazo de forma autónoma se debe a un acto reflejo, ya que no lo hacemos intencionalmente, por lo que el estímulo llegaría a la médula espinal pero no al cerebro. Sin embargo, a este efecto se le conoce como la ilusión de Kohnstamn y depende de la memoria motora, que se encuentra situada en el cerebro. El brazo sigue haciendo fuerza porque el cerebro y el músculo se habían "acostumbrado" a ello y tardan unos segundos en adaptarse a una nueva situación.

A.9. El cerebro responde

La información transmitida de los receptores sensoriales hasta la correspondiente zona de la corteza cerebral (que es distinta según el estímulo captado) es codificada y allí se realiza la discriminación de los complejos rasgos que le llegan.

Hay que pensar que los estímulos naturales implican complicadas interacciones de varios estímulos, lo que supone la intervención de un gran conjunto de neuronas en el cerebro que conducen a respuestas distintas. Así, se ignora de qué manera se codifican las cualidades de los sabores en el sistema nervioso central, y no se sabe con exactitud de qué manera se tratan los estímulos olfatorios que nos llegan, es decir, cómo se reconoce el aroma de una rosa o el olor de una persona especial. Pero es evidente que la información recibida es procesada por el cerebro, el cual emite una respuesta, que será diferente atendiendo a las características de las personas, esto es, puede haber distintas respuesta ante un mismo estímulo. Así, la estimulación de los receptores térmicos es procesada por el hipotálamo, que se encarga de emitir respuestas compensatorias (tiritar, sudar, vasoconstricción, vasodilatación, etc.).

Mira la figura adjunta y comenta con el compañero/a lo que has visto.

Propón la realización de experiencias que permitan constatar que, ante un mismo estímulo, las personas podemos emitir distintas respuestas.

Comentarios A.9. Conviene que exploremos con mayor detenimiento el papel que el cerebro cumple en la percepción de los estímulos, elaborando las respuestas y no ofreciéndolas de forma mecánica.

Para ello se pueden realizar actividades de oler y probar sustancias como vinagre, sal, azúcar o limón, y después cada uno expresar un adjetivo que las identifique. Los adjetivos utilizados son muy variados, máxime si realizamos la experiencia sin

saber lo que probamos. También se pueden presentar figuras ambiguas o difíciles de interpretar, como son los dibujos de Escher (Escher y Escher, 1985).

En estas actividades se comprueba que ante los mismos estímulos no todas las personas dan las mismas respuestas, por lo que debe haber un procesamiento de la información en el cerebro. Las respuestas a los estímulos, aunque rápidas, no son automáticas. Observamos que hay un componente subjetivo en la interpretación de la información sensorial. Cada cual elabora la respuesta que ha creído oportuna.

Una figura interesante para estudiar es la que se presenta de Gregory en la que aparecen unas áreas negras como caras y unas blancas como el perfil de un jarrón. Nuestra percepción alterna entre estas dos interpretaciones. Esto ilustra que percibimos modelos como conjuntos consistentes, cada uno distinto del otro. También ilustra que la percepción implica tomar una "decisión" de lo que es la figura ("señal") y lo que es el fondo ("ruido"). Esto, además, muestra que la percepción no es solamente la recepción pasiva de señales sensoriales individuales, sino que supone la interpretación activa por el cerebro.

A.10. Concentración de órganos de los sentidos

Los órganos de los sentidos en los humanos no se encuentran regularmente distribuidos por todo el cuerpo, pues la mayoría están concentrados en la cabeza.

¿Todos los animales tienen una distribución de sus órganos de los sentidos semejante a la nuestra? ¿Qué significa el proceso de cefalización? ¿Qué ventajas ofrece?

Comentarios A.10. La cefalización es la diferenciación de un extremo cefálico o cabeza, en el que se concentran la mayor parte de los órganos de los sentidos. Se da fundamentalmente en los animales con simetría bilateral (recordar los órganos de los sentidos en estrellas de mar, erizos, esponjas o actinias). Esto conlleva grandes ventajas para organismos que se desplazan activamente con esta parte del cuerpo por delante, ya que es la disposición más eficaz para los sistemas de recepción y para dar una respuesta rápida a los estímulos ambientales (Barnes, 1979).

Una vez examinadas las cuestiones generales que afectan a los sentidos, estudiaremos con algo más de detalle cada uno de los sentidos que tenemos los humanos.

EL OJO Y EL SENTIDO DE LA VISTA

A.11. Importancia de los ojos en nuestra cultura

Podemos comenzar el estudio del sentido de la vista recordando la importancia que tienen los ojos para nosotros y nuestra cultura. Así, el ojo es, en líneas generales, la vía fundamental mediante la cual el hombre recibe información del mundo exterior. Pero a los ojos también se les suelen atribuir otras propiedades. Los enamorados se miran a los ojos tratando de explorar los sentimientos de la persona amada. Los poetas de la antigüedad, por poseer el don de la videncia, ya que intuían lo que iba a acontecer, no podían contemplar lo que tenían cerca; esto es, la posesión de los ojos del alma suponía la ceguera

física, como muestran los retratos imaginarios de Homero ciego. Al Dios padre cristiano se le representa mediante un ojo único inscrito en un triángulo. Osiris significa "el ojo sobre el trono", etc.

Busca refranes, adivinanzas, situaciones o hechos de la vida cotidiana en los que los ojos tengan un papel importante.

Comentarios A.11. Se trata de comprobar la identificación que hacemos de los ojos con la puerta de entrada de nuestras más importante sensaciones: los ojos como ventanas tanto al mundo exterior como al interior. Refranes, dichos, adivinanzas y hechos en los que se ensalzan los ojos hay muchos, y en cada lugar y cultura existen unos específicos, que pueden ser recogidos como muestra.

Algunos ejemplos pueden ser:

"Ojos que no ven, corazón que no siente".

"El ojo que tú ves, no es ojo porque tú lo veas, es ojo porque te ve"(A. Machado).

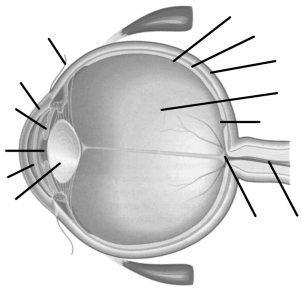
La Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE).

Es un buen momento para comentar los problemas de las personas invidentes, en el interior de los edificios, las casas, en las ciudades, etc. Una actividad a realizar puede consistir en moverse por la clase con los ojos vendados, etc.

A.12. Anatomía del ojo humano

El funcionamiento del ojo humano está condicionado por su estructura y organización. Por ello, el primer paso en su estudio consiste en conocer su anatomía. La actividad propuesta sirve para actualizar nuestros conocimientos.

En el presente esquema del corte sagital de un ojo, señala sus partes más importantes.



Comentarios A.12. El tema de la anatomía es ya conocido por los estudios previos de los alumnos, por lo que no le dedicaremos mucho tiempo. Información complementaria se puede obtener con facilidad de Internet o cualquier libro de texto. No obstante, conviene recordar algunas cuestiones fundamentales. En primer lugar, que hay tres capas superpuestas que conforman el globo ocular**:** la esclerótica, la coroides y, fundamentalmente, la capa interna o retina, que posee las células fotosensibles,

conos y bastones. Luego pueden detallarse algunas características de la retina: posee 5,5 millones de **conos** que se encargan de captar los colores (unos son sensibles al color rojo, otros al verde y otros al azul) y 125 millones de **bastones** que detectan diferentes intensidades de luz y se mantienen sensibles en la penumbra, además, en esta capa se encuentra la fóvea, pequeña depresión donde la visión es más aguda por existir un cúmulo de estas células fotosensibles. Es importante insistir también en las características del cristalino, de los humores, así como del nervio óptico.

A.13. Existencia de un punto ciego en el interior del ojo

Existe un lugar en la retina en el que no existen conos ni bastones y desde donde arranca el nervio óptico. A este punto se le denomina ciego porque las imágenes que se proyectan en él no las percibimos.

¿Cómo puedes demostrar la existencia del punto ciego del ojo? Esto es, ¿cómo proyectar una imagen conocida en el citado punto? ¿Qué es lo que se verá?

Comentarios A.13. En un papel blanco se dibuja una cruz y a unos 15 cm a la derecha un punto grueso. Se cierra el ojo izquierdo. Se mira la cruz con el ojo derecho y se acerca lentamente el papel. Llega un momento en que el punto situado a la derecha desaparece. En este momento, la imagen del punto se forma sobre el punto ciego y no se ve. Si continuamos acercando el papel, volveremos a ver el punto que había desaparecido. La pregunta que nos podemos hacer es: ¿ocurre lo mismo con un punto situado encima o debajo de la cruz? ¿Por qué?

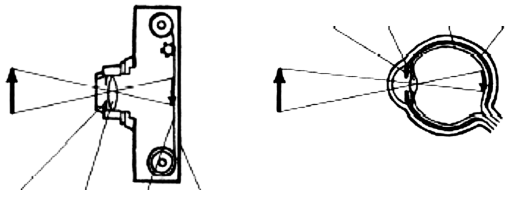
A.14. Fisiología del ojo

Después de estudiar la anatomía del ojo vamos a tratar de conocer cómo funcionan cada una de las partes que lo forman. Se suelen establecer comparaciones entre la cámara fotográfica y el ojo; de hecho, las imágenes que se reciben en ambos se proyectan de forma invertida.

En el presente esquema se simbolizan un ojo y una cámara fotográfica ¿Puedes indicar el nombre de sus partes principales y comparar las que poseen una misma función?

Concreta cómo se regula la entrada de luz en el interior del ojo y en la cámara.

¿Dónde reside la importancia del cristalino, el humor acuoso y el humor vítreo?



Comentarios A.14. Establecemos semejanzas entre el ojo y una cámara fotográfica ya que:

- *Ambos tienen un sistema de apertura variable por donde penetra la luz (pupila-diafragma).*
- *Los dos poseen un mecanismo para enfocar la imagen (cristalino-lentes), aunque el procedimiento utilizado sea diferente.*
- *Tienen un lugar donde se forma la imagen (retina-placa fotográfica).*
- *El interior del ojo y el de la cámara son oscuros.*

Para comprender bien el significado del cristalino y demás componentes del ojo podemos presentar el problema hipotético siguiente: ¿crees que puede existir un hombre completamente transparente? Si existiera, ¿crees que podría ver?

El problema presentado trata de ofrecer mayor información de la fisiología del ojo.

Un hombre transparente no puede existir, al menos en lo que se refiere a los ojos, ya que se requiere que el cristalino cambie la dirección de los rayos luminosos para que éstos se proyecten en la retina, la cual no puede ser transparente para que las imágenes se puedan proyectar en ella.

Esta actividad es un momento adecuado para proponer al alumnado, si no lo han hecho en estudios anteriores, la construcción de una cámara oscura. Conocida desde la antigüedad, consiste en una caja completamente oscura a la que practicamos un pequeño orificio. Por él penetra la luz, alcanzando el lado opuesto. Allí se produce una imagen exacta pero invertida de la escena exterior. Para poder observar esta imagen se requiere que la parte opuesta a la que hemos practicado el orificio sea translúcida. La nitidez de la imagen disminuye según aumenta el tamaño de la abertura, por lo que ésta debe ser muy pequeña. No obstante, si no entra suficiente luz la imagen no se forma, por lo que hay que guardar un equilibrio entre apertura y luminosidad.

A.15. Fotoquímica del ojo

Al ojo le llega la luz desde el exterior y se estimula por poseer células fotosensibles. No se requiere un estímulo muy grande para excitar una célula retiniana, cono o bastón, pues una tenue luz es suficiente para este cometido.

¿En qué consiste la excitación de los conos y bastones y de qué forma esta excitación se convierte en impulso nervioso?

Comentarios A.15. Interesa que el alumnado encuentre la dificultad de excitar una célula nerviosa a través de la luz, esto es, que reconozca la diferencia entre la excitación de una célula fotosensible y el impulso nervioso que luego se forma y se transmite a través del nervio óptico. Entendido el problema, el profesor puede señalar a la rodopsina, derivado de la vitamina A y que se encuentra en los sacos membranosos de conos y bastones, como molécula responsable, ya que es escindida por la luz dando lugar a opsina y retinol. Esta escisión permite la síntesis de ATP, con lo que la energía luminosa se transforma en energía química que abre los canales iónicos para la entrada de Na^+ y salida de K^+ en la célula (Costanzo, 1999).

Esta despolarización de la membrana, que constituye el impulso nervioso, va pasando de célula en célula en la retina hasta que llega a la neurona que forma parte del nervio óptico, que la conduce al cerebro.

A.16. Fisiología de la visión

Tenemos dos ojos y cada uno mira el mismo objeto desde posiciones, y por tanto direcciones, distintas, ya que están ligeramente separados uno del otro (65 mm por término medio). Cada ojo forma una imagen diferente del objeto; sin embargo, en el cerebro se construye una única representación resultado de la superposición de las dos imágenes.

¿Qué ventajas representa la visión binocular frente a una monocular?

¿Qué aporta el hecho de que los humanos tengamos los dos ojos en una posición frontal y no lateral, como muchos otros animales?

¿Cómo podemos demostrar que cada ojo forma una imagen diferente?

Comentarios A.16. La participación de los dos ojos nos permite conocer dimensiones, relieves y distancias (Kanizsa, 1986).

La posición frontal de los dos ojos permite que los dos campos de visión se superpongan y sean posible las ventajas comentadas.

La apreciación del relieve (visión estereoscópica) se debe a que se acentúa la diferencia entre las imágenes formadas en ambas retinas.

Para demostrar que cada ojo forma una imagen diferente y que en el cerebro "sumamos" las dos, podemos realizar la experiencia de la mano agujereada. Consiste en lo siguiente:

Se coloca un cilindro de papel en el ojo derecho y se dirige la mirada a lo lejos, con los dos ojos abiertos. Se acerca la mano izquierda extendida, perpendicularmente por el centro del tubo hasta que lo toques.

Al momento veremos la mano agujereada, fruto de la unión de la imagen de un ojo, que es la de la mano, con la del otro, que es la del agujero del cilindro.

Se pueden buscar figuras de colores apropiados y observarlas usando gafas que tengan un cristal azul y el otro rojo (se pueden construir con papeles celofán de estos colores).

La coloración que vemos no se forma por dos imágenes iguales en las retinas, ya que éstas poseen colores diferentes, sino porque ambas se superponen.

Es momento de explicar el quiasma óptico y cómo se forman las imágenes en el cerebro, recordando que las fibras del nervio óptico que salen del lado izquierdo de ambas retinas (correspondientes al lado derecho del campo visual) se proyectan en el hemisferio cerebral izquierdo, y las que salen del lado derecho de ambas retinas (correspondientes al lado izquierdo del campo visual), se proyectan en el hemisferio derecho.

A.17. Cálculo de distancias

Uno de los aspectos importantes de la visión binocular reside en la posibilidad de calcular distancias.

Realiza experiencias en las que se demuestre que con los dos ojos calculamos mejor las distancias que con uno sólo.

Comentarios A.17. Con un ojo cerrado tratamos de tocar la punta del dedo de un compañero que esté situado frente a nosotros, pero llegando desde un lado.

Es más difícil que con los ojos abiertos, que no ofrece dificultad.

A.18. El cerebro "construye" nuestra realidad

Con las imágenes que los ojos proporcionan al cerebro, éste va construyendo una realidad siguiendo las reglas de: la sencillez, el llenado de espacios, el uso de las figuras más frecuentes y la utilización de los recuerdos. Con estas reglas, muchas veces nuestro cerebro nos hace representaciones que no existen, por lo que las denominamos ilusiones ópticas.

Realiza un pequeño trabajo recopilando ilusiones ópticas. Busca en la bibliografía, en Internet y trata de explicarlas.

Comentarios A.18. El campo de las ilusiones ópticas es un mundo que suele ofrecer interés al estudiante por su curiosidad. Es momento de incentivar la búsqueda por Internet y procurar que realicen presentaciones con el programa PowerPoint, tratando de explicar sus hallazgos. Unas estupendas ilustraciones las podemos encontrar en Seckel (2000).

A.19. Evolución del ojo en los animales

El ojo humano es uno de los órganos más complejos que tenemos y punto de discusión entre evolucionistas y fijistas. Los primeros tratan de encontrar su posible camino evolutivo: pequeños cambios paulatinos y sucesivos, o bien saltos cualitativos. Los segundos señalan la imposibilidad de llegar a un órgano tan complejo a través del azar que supone la evolución.

Es evidente que el órgano de la vista presenta una gran complejidad: su forma globular, las capas que lo envuelven, las glándulas lacrimales, la musculatura que permite el movimiento, los pigmentos que poseen las células fotosensibles, etc. ¿Se requieren todas estas estructuras para captar los estímulos luminosos? ¿Puedes señalar diferentes tipos de ojos? ¿Te atreves a sugerir una posible ordenación de complejidad entre todos ellos?

Comentarios A.19. Una preciosa explicación de la evolución que ha sufrido el ojo en el mundo animal la encontramos en el libro Escalando el monte improbable de Dawkins

(1998), al que nos remitimos en esta cuestión. Allí se presenta una posible evolución del ojo humano rastreando entre los diferentes tipos de receptores fotosensibles existentes.

A.20. La higiene de la vista

Necesitamos los dos ojos para toda la vida, por lo que debemos cuidarlos adecuadamente. Para ello hay que tener presente una serie de conductas saludables a lo largo de nuestra vida.

> Presenta un conjunto de prácticas higiénicas que se dirijan hacia el cuidado de nuestros ojos. Trata de justificar los consejos que presentes.

Comentarios A.20. La higiene de los sentidos está fundamentada en la anatomía y fisiología de los mismos, por lo que una actividad como la presente se convierte en una actividad de resumen, evaluación y aplicación a la vida cotidiana.

Entre las prácticas que presentarán los alumnos se encontrarán consejos como los siguientes:

1. Mantener una distancia correcta para leer.
2. Los ojos descansan mirando a lo lejos.
3. La luz debe entrar por el lado contrario a la mano con la que se escribe.
4. Una buena iluminación por la noche significa la luz de sobremesa y otra ambiental.
5. No acercarse a la TV o al ordenador en exceso.
6. Revisión oftalmológica anual.
7. Usar gafas de sol cuando sea necesario.
8. No leer en movimiento.
9. Ante la introducción de cuerpos extraños, lavar con agua abundante y no restregarse.
10. Las gasas o pañuelos usados en un ojo no deben utilizarse para el otro.

Ahora la continuación de esta actividad consiste en la búsqueda de argumentos para justificar los consejos presentados, en el debate posterior que se puede organizar en el aula.

A.21. Defectos de la vista

Los ojos, como cualquier órgano del cuerpo, pueden tener malformaciones o defectos. Asímismo, los años hacen, de manera natural, disminuir su buen funcionamiento (de aquí la importancia de sus cuidados para prolongar, en lo posible, la aparición de anomalías).

> Señala los principales defectos de la vista, sus causas y esboza sus posibles soluciones.

Comentarios A.21. Los principales defectos de la vista son: la miopía, hipermetropía, astigmatismo, daltonismo y la presbicia o vista cansada.

El astigmatismo se debe a imperfecciones en la curvatura de la córnea y del cristalino, lo que provoca diferencias de nitidez entre las líneas verticales y horizontales.

El daltonismo significa la no distinción de ciertos colores por anomalías en algún tipo de conos de la retina (dependiendo del tipo de daltonismo).

La miopía se debe a un defecto en la curvatura del globo ocular que ocasiona un ojo "alargado", de forma que el cristalino no logra enfocar los objetos lejanos y la imagen se forma antes de llegar a la retina, por lo que se ve borroso. Las lentes divergentes corrigen esta situación. Sin embargo, los objetos cercanos forman su imagen en la retina perfectamente.

La hipermetropía es un defecto que consiste en que el ojo es algo "achatado". En este caso, las persona pueden ver objetos lejanos abombando el cristalino. Sin embargo, no pueden ver con claridad los objetos cercanos, ya que se forman un poco más atrás de la retina. Las lentes convergentes, al juntar los rayos de luz, enfocan la imagen sobre la retina solucionando el problema.

La presbicia o vista cansada suele aparecer a partir de los 40-45 años. Se debe a que el cristalino ha perdido su flexibilidad y, por tanto, su poder de acomodación, resultando difícil que se contraiga y ensanche. En estos casos tiene dificultad para enfocar los objetos cercanos en la retina, por lo que requiere gafas**,** también con lentes convergentes, como en el caso de la hipermetropía.

A.22. Aplicaciones sociales

A lo largo de la historia el ser humano se ha fijado en la naturaleza para solucionar muchos de sus problemas técnicos. El tema de la vista no podía ser menos y hemos desarrollados toda una serie de instrumentos que tienen relación con los ojos, desde la cámara fotográfica hasta el cine.

Señala artefactos relacionados con el sentido de la vista que facilitan nuestra vida. Intenta explicar en qué se basan.

Comentarios A.22. Son muchos los útiles relacionados con la vista: telescopios, microscopios, gafas, lupas, cámaras fotográficas, la iluminación, el color, la pintura, los proyectores, el cine, la televisión...

De todos ellos, quizás sea conveniente señalar el fundamento del cine, basado en el tiempo que permanece una imagen en la retina o la necesidad de un tiempo para procesar dos imágenes seguidas. De ahí parten los tomavistas, la televisión y todo aquello que signifique captar o reproducir imágenes en movimiento.

EL OÍDO. AUDICIÓN Y EQUILIBRIO

A.23. Importancia del oído

Comenzaremos el estudio del oído reflexionando sobre la importancia que tiene en nuestro mundo de relación.

Sabemos que el oído sirve para detectar y localizar objetos, para la comunicación entre los individuos, para completar la información obtenida a través de otros sentidos, etc. Esto es, mediante los sonidos captamos valiosa información de lo que sucede a nuestro alrededor.

¿Puedes señalar aspectos por los que el oído es valioso?

Diseña una actividad en la que quede patente la importancia del oído para la identificación de algunos objetos.

Comentarios A.23. Esta actividad introductoria trata de mostrarnos la importancia de los sonidos en la vida cotidiana, su grado de complemento para otros sentidos como es la vista, y cómo pueden servir de guía para las personas invidentes.

Los sonidos nos traen recuerdos, nos indican lugares, facilitan la comunicación, nos relajan o nos excitan, etc.

El diseño de la actividad solicitada puede consistir en el siguiente:

Preparar varios recipientes opacos en que introducimos materiales de diferentes tamaños (arena, arroz, garbanzos, canicas, etc.), de manera que, sin ver su contenido, podamos averiguar cuál es el producto que allí se esconde a partir de los sonidos que hacemos que produzcan.

Si no los conseguimos identificar, podemos tratar de clasificarlos en orden creciente de tamaño de los objetos.

A.24. La comunicación a través de los sonidos

La importancia de la audición en el mundo animal la demuestra el hecho de la utilización del sonido para intercambiar información. Algunos animales emiten sonidos muy característicos que señalan diferentes situaciones o estados. Así, las aves, en su conducta de cortejo, manifiestan un canto diferente al que exteriorizan en una situación de alarma o ante la presencia de comida.

¿Qué animales podrías identificar por los sonidos que emiten? ¿Cómo se llaman esos sonidos característicos?

Comentarios A.24. Cada especie animal posee un sonido característico, de forma que a muchos de ellos los podemos reconocer sin verlos, tan sólo escuchándolos.

Es el caso de león con su rugido, del perro con el ladrido, del gato y demás felinos con su maullido, del burro con su rebuzno, del grillo con su canto o grillar, de la rana con su croar, del cuervo con su graznido, de la inmensidad de aves cada una con su trino diferente, de las serpientes con su silbido, etc. Pero lo sonidos que emiten no siempre son iguales; así las aves, en sus conductas de cortejo, manifiestan un canto diferente al que exteriorizan en una situación de alarma, o ante la presencia de comida, etc.

Escuchar alguna grabación de sonidos animales y tratar de identificarlos es un buen ejercicio.

A.25. ¿De qué está formado el sonido?

Sabemos que el sonido se transmite por el aire porque nosotros lo escuchamos y vivimos rodeados de él, pero nuestra pregunta gira alrededor de la naturaleza del sonido.

¿En qué consiste el sonido? Trata de elaborar diseños que permitan conocer alguna de sus características.

Comentarios A.25. Los estudiantes recordarán que el sonido está formado por ondas con una determinada frecuencia. Se pueden diseñar experiencias en las que éstas intervengan.

Así, podemos observar cómo el sonido mueve objetos: sobre la membrana de un tambor (que puede ser casero) se depositan unos granos de arena o sal. Desde una cierta distancia se hacen sonar palmas u otros sonidos fuertes y observaremos cómo los granos de arena saltan sin que nadie los toque.

Puesto que las ondas poseen el fenómeno de la reflexión, podemos idear alguna experiencia con el sonido que cumpla esta propiedad.

Se puede comentar el fenómeno del eco.

Hemos visto que el sonido son ondas que se propagan a través de un soporte material. La materia no se desplaza del lugar en que se emite la onda hasta el lugar en que se escucha, pero la onda sí. Esto es, las porciones del material donde se propaga el sonido se comprimen primero, luego empujan a las que tienen cerca y después vuelven a su sitio, repitiéndose este proceso sucesivamente. Se trata de ondas longitudinales, como las que tienen lugar cuando un muelle se estira y luego se suelta, a diferencia, por ejemplo, de las ondas que se propagan en una cuerda estirada cuando se sacude uno de sus extremos.

A.26. ¿Por dónde viajan las ondas sonoras?

Las ondas sonoras no sólo se transmiten por el aire, sino que se propagan a través de los soportes materiales, lo que significa que la velocidad del sonido depende, entre otros factores, del medio de propagación.

¿Qué medio permite una mayor velocidad de transmisión de las ondas: el sólido, el líquido o el gaseoso? ¿Por qué?

En ciertas películas, como *La guerra de las galaxias*, se pueden oír las grandes explosiones que tienen lugar cuando las naves estallan en el espacio interestelar. ¿Hay algo anómalo en esta situación?

Comentarios A.26. La siguiente tabla muestra la velocidad de propagación del sonido en algunos medios. Podemos observar que las ondas se desplazan más lentamente en el aire que en los sólidos.

Medio de transmisión	VELOCIDAD DEL SONIDO metros/seg.
Aire	344
Agua	1.484
Cobre	3.580
Acero	5.050

En el vacío no se pueden oír las explosiones, pues no hay soporte material para que se propaguen las ondas sonoras, por lo que la guerra que tiene lugar en las galaxias es una guerra sorda.

A.27. Características anatómicas del oído

Vamos a centrarnos en el estudio del oído humano y para ello empezaremos por acercarnos a su anatomía.

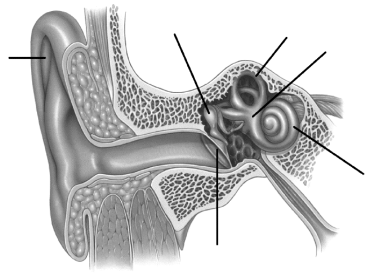
Para situarnos ante la organización morfológica del oído recordamos las siguientes ideas claves acerca del sonido: a) son ondas que se propagan por distintos medios, y b) la velocidad de propagación es mayor en los sólidos que en los líquidos.

Diseña el órgano de un ser vivo que se encuentre especializado en captar las ondas sonoras.

Comentarios A.27. Son muchos los diseños posibles, y en esta actividad el alumnado muestra una gran imaginación, aunque muchos tipos presentan alguna relación con el oído humano. En el mundo animal podemos encontrar toda clase de diseño por lo que puede resultar interesante establecer las relaciones entre el diseño efectuado y el animal que lo posee (Eckert, 1999).

Para terminar la actividad concretando el caso del oído humano, se puede proporcionar a los estudiantes un dibujo como el adjunto en el que interesa resaltar, al menos, lo siguiente:

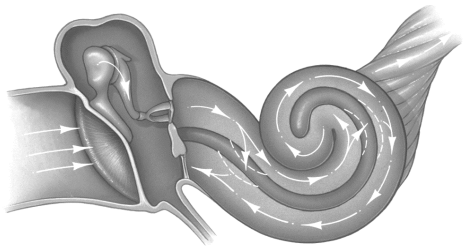
- Una estructura especializada en recoger las ondas sonoras (pabellón auditivo).
- Una membrana que vibre al impactar en ella dichas ondas (tímpano).
- Unas estructuras sólidas y/o líquidas que amplifiquen el sonido (cadena de huesecillos/linfa).
- Unas células sensibles que reciban el estímulo amplificado, esto es unos mecanorreceptores (órgano de Corti).
- Nervio que comunique el oído con el cerebro.



A.28. Funcionamiento del oído

De manera sencilla podemos señalar los siguientes momentos que se producen cuando llegan las ondas sonoras al oído y éste entra en funcionamiento (el paso de las ondas sonoras por las diversas estructuras del oído lo podemos observar en el esquema que se presenta):

1. El pabellón de la oreja recoge las ondas sonoras y las conduce al tímpano, que vibra.
2. Las ondas llegan a la ventana oval, a través de la cadena de huesecillos.
3. Las vibraciones se transmiten por el líquido del canal superior del caracol (rampa vestibular) y salen por el canal inferior (rampa timpánica) hasta la ventana redonda.
4. Existe un fluido que recibe la vibración y la transmite a los receptores (endolinfa).
5. En el recorrido de las ondas a través de este líquido interno se hace vibrar al órgano de Corti, estimulando las células sensoriales que allí se alojan.
6. El estímulo es transmitido por el nervio coclear al cerebro.



Ahora trata de contestar las siguientes preguntas:

¿En qué consisten los mecanorreceptores del oído y dónde se sitúan?

¿Cómo se estimulan las células de Corti y cómo llega el estímulo al cerebro?

¿Cuál es el camino que recorren las ondas sonoras por el interior del oído?

¿Qué función desempeña la trompa de Eustaquio?

Comentarios A.28. Los mecanorreceptores se encuentran en el órgano de Corti y se estimulan al paso de las ondas de la perilinfa y endolinfa, que pulsan las células sensoriales hacia la membrana tectoria. La estimulación llega al nervio coclear, que la transmite al cerebro (Guyton, 1998).

El camino que recorren las ondas sonoras por el interior del oído se puede observar en la figura que se adjunta, basta con señalar el nombre de las diversas estructuras por donde se transmiten.

La presión sobre el tímpano se compensa por la comunicación con el exterior que existe a través de la trompa de Eustaquio.

A.29. ¿Por qué dos oídos?

Necesitamos los dos oídos para saber de dónde vienen los sonidos.

Cuando el cerebro compara las ondas que le llegan de cada uno de los oídos puede identificar la fuente de procedencia.

Las personas que tienen sólo uno han de girar la cabeza para saber desde dónde les llega el sonido.

¿Puedes diseñar una experiencia en la que se muestre que el estímulo que recibe cada oído llega independiente al cerebro y allí hay una interpretación conjunta?

Comentarios A.29. Cuando oímos, el cerebro compara las señales que le llegan de los dos oídos, que son independientes, y localiza el origen del sonido.

Podemos engañar al cerebro invirtiendo las señales que llegan a los oídos. Lo comprobamos con dos tubos flexibles que aplicamos a cada uno de los oídos y luego se entrecruzan, de forma que los sonidos que provienen de la derecha lleguen al oído de la izquierda y viceversa. Para captar mejor los sonidos, en los extremos de los tubos se puede aplicar un gran "captador de ondas", que puede ser un embudo.

En estas condiciones resulta difícil localizar la procedencia de los sonidos.

A.30. El equilibrio, un sentido distinto

Todo organismo necesita orientarse en el espacio, saber no sólo dónde y cómo se encuentra, sino también en qué dirección se mueve: derecha o izquierda, arriba o abajo, etc. Uno de los sentidos que contribuye a dicha orientación es el del equilibrio.

Diseña la arquitectura y el posible funcionamiento de una estructura que pudiera indicar a los seres vivos su orientación en el espacio, de forma que no perdieran el equilibrio.

Comentarios A.30. Esta actividad sirve para señalar la independencia de las funciones de la audición y del equilibrio, por lo que no sería necesaria su unión anatómica. No obstante, dado que ambas funcionan con un mismo líquido interno (peri y endolinfa), poseen la conexión que observamos.

Casi todos los diseños pasan por unos modelos semejantes a las reglas de niveles que se usan en la construcción, esto es**,** un líquido con una burbuja que se desplaza si no mantiene una determinada posición. Dado que en el espacio podemos distinguir tres direcciones, un posible diseño presenta una solución para cada una de ellas, aunque siempre con una central de interpretación (cerebro).

En el caso de los humanos, el sentido del equilibrio está formado por los canales semicirculares, el utrículo y el sáculo. En ellos se encuentran unos mecanorreceptores que son internos (propioceptores).

Los canales semicirculares se disponen en las tres direcciones básicas en las que podemos dividir el espacio. Poseen un ensanchamiento que contiene la **cresta acústica**, formada por células nerviosas ciliares inmersas en una gelatina. Al realizar movimientos o aceleraciones, los cilios se flexionan y ocasionan impulsos que se transmiten a través del nervio acústico hacia el cerebro.

El utrículo y el sáculo tienen una mancha, la **mácula estática,** formada por células ciliares cubiertas de cristalitos de calcio, otolitos. Nos indican la posición de la cabeza con respecto a la gravedad, por presión de las piedrecitas sobre los cilios.

A.31. El mareo y el vértigo

El nervio acústico conecta el órgano del oído con el cerebro, de forma que tanto los sonidos que provienen del exterior como los estímulos internos que se generan en el órgano del equilibrio son trasladados al cerebro.

Muchas veces y ante determinada información procedente del órgano del equilibrio, el cerebro que la procesa sufre una cierta confusión que denominamos mareo. Otras veces padece sensaciones de vértigo. ¿Puedes decir en qué consiste y a qué se debe cada una de estas situaciones?

Comentarios A.31. Cuando giramos a cierta velocidad nos solemos marear. Ello se debe a la gran cantidad de información contradictoria y rápida que recibe el cerebro, ya que los tres canales semicirculares están siendo estimulados.

Cuando nos encontramos a cierta altura y miramos hacia abajo, podemos tener vértigo o sensación de pérdida de equilibrio. En esta sensación interviene la visión, pero el cerebro elabora la misma respuesta que cuando realizamos los giros repetidos: el mareo. En ambas ocasiones la respuesta del cerebro consiste en emitir señales de advertencia o de peligro, para que adoptemos medidas de precaución.

A.32. La higiene de la audición

Es necesario que sigamos unas sencillas reglas preventivas y de higiene que nos permitan cuidar nuestros oídos y mantenerlos en un buen nivel de funcionamiento. De esta forma podemos apreciar mejor todos los sonidos que nos llegan.

Elaborar entre todos unos consejos para el cuidado de los oídos.

Comentarios A.32. Necesitamos los oídos para toda la vida, por lo que debemos cuidarlos adecuadamente. Para ello debemos tener presente consejos como los siguientes:

1. MANTENER LOS OÍDOS LÍMPIOS.
   Utilizar agua tibia y jabonosa para mantener los conductos auditivos limpios. No usar objetos punzantes ni bastoncillos higiénicos.
2. PROTECCIÓN ANTE LOS RUIDOS MUY INTENSOS O VIOLENTOS.
   Ante los ruidos violentos (por ejemplo, petardos), alejarse de ellos o tomar la precaución de entreabrir la boca.

   Hablar con un tono medio, sin gritar.

   No golpear objetos que produzcan ruidos.

   Procurar que los vehículos a motor lleven silenciadores en buen estado.

   Respetar la intimidad de los vecinos evitando ruidos innecesarios. Por ejemplo, poner protectores en las patas de las sillas, sillones y mesas.

   Evitar escuchar música más fuerte de lo necesario. Los auriculares no deben transmitir con exceso de volumen.

   Utilizar tapones para atenuar el excesivo ruido ambiental.

Señalar ante la administración correspondiente las fuentes de contaminación acústica.

3. USAR TAPONES EN LOS BAÑOS PÚBLICOS.
   Emplear tapones para los oídos en las piscinas y los baños públicos. Recordar que no son adecuados para hacer inmersiones.
4. ACUDIR AL MÉDICO PERIÓDICAMENTE.
   Cuando se tenga algún problema de audición o dolor de oídos y anualmente como medida preventiva.

A.33. Los efectos del ruido

En la anterior actividad de elaborar una serie de medidas higiénicas y protectoras del oído, hemos prestado especial atención a las de protección contra el ruido, ya que, aunque no lo parezca, afecta de modo importante a nuestra salud.

Discutid en clase y señalad los efectos que puede ocasionar el ruido sobre nuestro organismo.

Comentarios A.33. El ruido produce una serie de efectos en nuestra salud, que dependen de su intensidad y de la duración de la exposición.

Sobre el oído: sordera temporal o prolongada, fatiga auditiva y falta de percepción bilateral.

Sobre el sistema nervioso: irritabilidad, cansancio, fatiga, náuseas, vértigo, estrés e insomnio.

Sobre el resto del organismo: trastornos digestivos, respiratorios y circulatorios, así como alteraciones del sistema endocrino.

Causa el 15% de las pérdidas de las jornadas de trabajo y el 20% de las consultas psiquiátricas.

Para recuperarse de una exposición de 10 minutos a un ruido de 100 dB se necesitan 30 minutos de tranquilidad acústica.

La exposición a un ruido violento y repentino puede producir una pérdida temporal de la audición e incluso sordera permanente.

En ambiente ruidoso, a partir de 60 dB, disminuye la capacidad de concentración y la memoria, el aprendizaje es más lento y se cometen más errores.

Exposiciones repetidas a un ruido superior a 80 dB deterioran el oído al destruir las células ciliares del oído interno.

A.34. La contaminación acústica

El principal foco de contaminación acústica que soportamos todos los días se encuentra en las ciudades con sus múltiples y continuos ruidos de todo origen. Podemos realizar una sencilla investigación que identifique y denuncie la procedencia de los más molestos, así como los lugares en los que son más intensos.

Elabora un mapa de ruidos de tu ciudad, señalando las calles y las horas más ruidosas. Señala las causas de esos ruidos.

Comentarios A.34. Esta actividad de medición de los ruidos en las calles se puede llevar a cabo de varias maneras: La más sencilla es mediante un sonómetro. También se pueden usar dos magnetófonos, que midan los ruidos de las calles de los lugares seleccionados en distintos momentos. Otra posibilidad es medir la distancia a la que se puede oír un determinado ruido (campana, despertador) o música en ciertas calles y comparar esa medición.

Los datos obtenidos se plasman en el plano de la ciudad, utilizando colores identificativos, y se presentan al público para su conocimiento.

A.35. Utilizando las ondas sonoras

Podemos resumir nuestros conocimientos sobre el oído y la audición y tratar de aplicarlos a otros campos distintos del cuerpo humano.

Sabemos en qué consiste el sonido y cómo funciona el oído. ¿Qué aplicaciones podemos encontrar a nuestros conocimientos?

Comentarios A.35. Esta actividad nos permite hablar del sónar y del radar, así como de sus aplicaciones**.**

De cómo se orientan los murciélagos si no tienen ojos.

De cómo se comunican algunos animales acuáticos, por ejemplo los delfines.

De los audífonos para personas con deficiencias acústicas. De las personas sordomudas, las posibles causas de su minusvalía y la forma de superarla, del lenguaje de signos, etc.

LA NARIZ Y EL SENTIDO DEL OLFATO

A.36. Importancia del olfato

El olfato es un sentido muy desarrollado en ciertos animales, pero poco en la especie humana, en comparación con ellos. Sin embargo, si careciéramos de él, no podríamos percibir determinados estímulos que son necesarios para realizar convenientemente tareas cotidianas.

A veces podemos tener la sensación de que el olfato es un sentido poco importante, especialmente si lo comparamos con los demás sentidos. Sin embargo, cumple varias funciones esenciales. ¿Puedes comentarlas?

Comentarios A.36. Los humanos "vemos" el mundo que nos rodea fundamentalmente por los ojos y los oídos, sin prestar demasiada atención a la información que recibimos del olfato. Sin embargo, el olfato está relacionado con muchas de las funciones cotidianas importantes.

Así, el olfato está conexionado con la alimentación de varias formas: con la obtención del alimento, pues ayuda a encontrarlo; con su degustación, ya que de la interrelación con el gusto percibimos los sabores; de alerta sobre el alimento en mal estado sin necesidad de probarlo, lo que evita envenenamientos, etc. Con la cría y reproducción: las madres y los bebés de muchos animales se reconocen por el olfato. Por este sentido se distingue el estado fértil de muchas hembras. Con la cultura: el olor a tabaco, las colonias, los desodorantes personales, los ambientadores, etc.

A.37. El olfato en el mundo animal

El olfato es posible porque de algunos cuerpos se desprenden partículas volátiles que llegan a unos receptores que son capaces de impresionarse por ellas. Estos receptores, como ya hemos visto, son quimiorreceptores.

Diseña estructuras posibles en animales que permitan captar los olores.

Averigua en qué consiste el órgano del olfato de diversos animales.

Comentario A.37. La estructura más sencilla consta de un receptor, capaz de ser estimulado por una molécula volátil, que se encuentra conectado al cerebro a través del correspondiente nervio sensitivo. La molécula volátil se disolverá en un fluido, que es donde se halla el receptor sensitivo, para poder impresionarlo.

El origen del sentido del olfato hay que buscarlo en los seres unicelulares, pues la quimiotaxis es una respuesta a señales químicas que pueden recibir por cualquier parte del organismo.

Las polillas tienen receptores químicos en las antenas, más de 20.000 en un milímetro de antena. A su vez, producen compuestos químicos capaces de atraer al macho desde gran distancia.

Las hormigas dejan un rastro que las demás pueden seguir como si se tratara de una carretera; además, se palpan con las antenas para comunicar el olor del nido y reconocerse unas a otras.

Las moscas poseen receptores olfativos en sus patas.

Los peces tienen en la parte frontal de la cara dos cavidades nasales o narinas, cada una de ellas dividida en dos por una membrana. El agua entra por una de las aperturas y sale por la otra, pero en su trayecto penetra en un saco sensitivo.

A.38. Anatomía de la nariz

Hemos visto cómo está constituido el órgano del olfato en diversos grupos de animales. Vamos ahora a centrar nuestro estudio en el olfato humano.

En los seres humanos, el olfato está asentado en la nariz para, de esta forma, poder llevar a cabo sus funciones.

Describe brevemente cómo es la anatomía interna de la nariz. ¿Qué significa que las trompas de Eustaquio y los conductos lacrimales se comuniquen con las fosas nasales?

Comentarios A.38. La cavidad nasal está dividida interiormente en dos mitades por el tabique nasal, cada una de ellas es una fosa nasal.

Cada fosa contiene tres láminas casi horizontales, llamadas cornetas, que se encuentran tapizadas por una delicada piel.

La zona inferior tiene función respiratoria: poseen muchos **capilares** (de ahí su color rojo) para calentar el aire y humedecerlo y producen **mucosidades** para filtrarlo de polvo y bacterias.

En la zona superior se encuentra la función olfatoria: la piel que la reviste, de color amarillo parduzco, es la **pituitaria**, con 20 millones de células sensibles a los olores (Netter, 2003).

A.39. Fisiología del órgano del olfato humano

Después de estudiar como está formado el órgano del olfato, conviene aproximarnos a su funcionamiento y encontrar sentido a cada una de las partes constituyentes.

¿Cómo funcionan nuestras fosas nasales para percibir los olores de los cuerpos?

¿Cómo podemos discriminar entre varios olores diferentes?

Comentarios A.39. El epitelio olfatorio de la nariz posee las células olfatorias, que son neuronas bipolares. De uno de los extremos parten unos cilios que son los verdaderos receptores, ya que se ponen en contacto con las moléculas odoríferas.

Las células de este epitelio atraviesan el hueso etmoides por su lámina cribada, llegando al bulbo olfatorio por el otro extremo.

Para que podamos oler una sustancia, ésta ha de ser:

- *Capaz de desprender partículas suficientemente pequeñas para que sean volátiles o moléculas que puedan llegar hasta la nariz.*
- *Soluble en agua, para que alcance la pituitaria.*
- *Soluble en grasas, para que impresione las células sensibles.*

Se dice que existen siete olores primarios: alcanfor, almizcle, flores, menta, picante, éter y podrido. La pregunta que nos hacemos es: ¿cómo podemos identificar estos siete olores?, y también: ¿cómo reconocemos los demás olores?

Existen varias teorías que intentan explicar la discriminación olfativa.

Una posibilidad es la existencia de receptores diferentes para los olores primarios. Esto significa aplicar la hipótesis “llave-cerradura” de la cinética enzimática al olfato. Las células sensitivas podrían tener uno o varios receptores químicos distintos que sólo son sensibles ante determinadas moléculas químicas que se encuentran en los distintos olores.

Otra posibilidad sugiere que la molécula o partícula odorífera se difunde a través de la membrana de la célula receptora formando un poro iónico. Cada olor produce un poro de diferente tamaño y, en consecuencia un potencial del receptor diferente (Hill y Wyse, 1992).

La unión de dos o más olores primarios da como resultado un olor diferente, y así podemos detectar toda la gama de olores posibles.

A.40. Identificando olores

El ser humano tiene unos 10 millones de células olfativas, la décima parte que el perro, pero es capaz de identificar entre 2.000 y 4.000 olores diferentes.

Cita sustancias con olores característicos.

¿Cómo puedes averiguar tu capacidad de discernir intensidades olorosas?

¿Podrías determinar tu umbral de percepción para alguna de ellas?

Comentarios A.40. Gasolina, sales de baño, tabaco, pescado –atún–, cebolla, ajo, menta, café, alcohol, naranja, eucalipto, regaliz, chocolate, crema corporal, suavizante de ropa, orégano, vinagre, leche, queso, pan quemado, ,etc. La lista es muy larga.

Para averiguar la capacidad de discernir intensidades olorosas se toma uno de los productos citados y se hacen varias diluciones. Se trata entonces de ordenar, de mayor a menor intensidad olorosa, los recipientes preparados y comprobar nuestro número de aciertos.

El umbral de percepción será la menor dilución que se puede identificar.

A.41. Aspectos sociales de los olores

Sabemos en qué consisten los olores, cómo llegan al cerebro y que éste posee memoria de ellos, pero no podemos terminar este apartado si no indagamos acerca de sus aplicaciones sociales.

¿Qué aplicaciones podemos encontrar a nuestros conocimientos sobre los olores?

Comentarios A.41. Esta actividad nos permite comentar diversos aspectos de interés. Por ejemplo:

Cada persona tiene su propio olor, que cambia sutilmente según el estado anímico y el metabolismo.

La importancia de los perfumes, tratando de anular el olor corporal y ofreciendo otro diferente previamente establecido y conocido.

El gusto y el olfato están muy relacionados, por eso los grandes gourmets son personas que tienen muy buen olfato

Los receptores olfativos empiezan a atrofiarse desde que nacemos. A los 20 años conservamos el 80% de nuestra capacidad olfativa. A los 80 años, generalmente sólo el 28%.

LA LENGUA Y EL SENTIDO DEL GUSTO

A.42. Importancia del sentido del gusto

Este apartado lo dedicaremos a estudiar el sentido del gusto y el órgano donde éste se localiza, cómo funciona y qué podemos hacer para mejorarlo y conservarlo, ya que se trata de un sentido importante pues permite analizar el sabor del alimento que se ingiere.

¿Qué otras funciones cumple el sentido del gusto? ¿Por qué es importante?

Comentarios A.42. Mediante los sabores reconocemos a los alimentos, por lo que sólo ingerimos los que conocemos o mostramos precaución con los desconocidos. Los alimentos en mal estado o con sustancias tóxicas producen sensaciones desagradables al gusto, por lo que los desechamos.

Las señales gustativas provocan respuesta fisiológicas que favorecen la utilización efectiva de los nutrientes ingeridos. Así, se estimula la secreción de saliva, de los jugos gástricos y de insulina.

Existe una concomitancia entre el sabor y el placer. En ella se basa el aprendizaje de nuestra conducta hacia determinados tipos de alimentos, bien para intentar conseguirlos o bien para rechazarlos.

Las relaciones sociales de nuestra cultura utilizan el sabor agradable que ofrecen ciertos alimentos para proporcionar placer en las conductas de socialización (banquetes, fiestas, etc.).

A.43. Ubicación del órgano del sentido del gusto. Su anatomía

El sentido del gusto se posibilita al entrar en contacto con las sustancias químicas que componen los cuerpos. Se trata, pues, de quimiorreceptores que identifican las cualidades químicas de las sustancias alimenticias.

¿Cómo diseñarías un órgano capaz de percibir los sabores que fuera útil para un animal? ¿Dónde ubicarías los órganos receptores del gusto?

Comentarios A.43. El órgano encargado de recibir las propiedades químicas de los alimentos debe situarse en el exterior del cuerpo, en la puerta de entrada del aparato digestivo, dado que no tendría sentido si el gusto lo percibiéramos una vez ingerido el alimento. En todo caso, contará con unas estructuras especializadas capaces de encontrar las diferencias químicas entre las sustancias que componen los alimentos.

Sobre el sentido de gusto que se encuentra en el mundo animal se puede comentar desde la quimiotaxis de los organismos unicelulares hasta el estómago evaginable de los equinodermos y estrellas de mar, pasando por los quimiorreceptores de los peces distribuidos por la parte exterior del cuerpo.

Una posibilidad, y la más frecuente, es la que se encuentra en los humanos, esto es, al comienzo del tubo digestivo, en la boca.

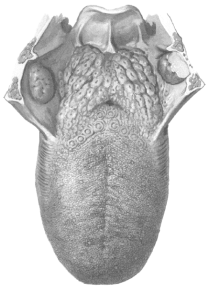
Los quimiorreceptores son células quimiosensibles que se encuentran en la boca: paladar, faringe, pero sobre todo en la lengua. Estas células se agrupan formando botones gustativos, y los botones se disponen en las papilas gustativas, que son las pequeñas protuberancias visibles a simple vista que se encuentran en la lengua.

A.44. Un mapa de la lengua

Hemos visto que la lengua no es sólo un músculo que ayuda durante la masticación y deglución. Es, además, un lugar idóneo para que en él resida el sentido del gusto, por lo que conviene dedicarle cierta atención.

Si la observamos con atención podemos encontrar, por su diferente forma, cuatro tipos de papilas gustativas: las filiformes, que tienen forma de hilo; las fungiformes, con forma de hongo; las caliciformes, que tienen forma de copa, y las foliáceas, que son repliegues de la mucosa, por lo que tienen aspecto de hoja.

En el presente dibujo esquemático de la lengua sitúa los cuatro tipos de papilas gustativas diferentes.



Comentarios A.44. Las filiformes se encuentran por toda la lengua y en mayor cantidad en el ápice.

Las fungiformes las observamos en la parte delantera y el borde lateral.

Las caliciformes son las más grandes y existen entre 10 y 12 de ellas que se disponen en forma de V en la parte posterior de la lengua.

Las foliáceas se sitúan a cada lado de la base de la lengua (Perlemuter, 1998).

A.45. La saliva

Los sabores dependen de las características químicas de los alimentos. Pero para llegar a impresionar a los quimiorreceptores de la lengua necesitan disolverse en la saliva que, ante determinados alimentos, producimos en gran cantidad.

¿Podemos recordar qué funciones tiene la saliva? ¿En qué consiste? ¿Dónde se secreta?

Comentarios A.45. La saliva es la secreción de las glándulas salivares. Es un líquido que humedece la boca, ablanda la comida, disuelve las sustancias químicas del alimento permitiendo la percepción del sabor, facilita la deglución y contribuye a realizar la digestión.

Hay varios tipos de glándulas salivares: submaxilares, sublinguales, parótidas y bucales.

Es un líquido claro, algo viscoso, alcalino (pH entre 6 y 7), fundamentalmente formado por agua que contiene sales minerales, un enzima llamado ptialina, que se trata de una alfa-amilasa que hidroliza el almidón, y la mucina, que es un lubricante que facilita la masticación y la deglución.

A.46. Los sabores. Fisiología del sentido del gusto

Nos interesa ahora conocer el funcionamiento del sentido del gusto y cómo reconocemos los diferentes sabores.

Sabemos que existen cuatros sabores fundamentales: dulce, salado, ácido y amargo. Pero, ¿existe alguna relación entre estos cuatro sabores y los cuatro tipos de papilas gustativas? Trata de comprobarlo.

Si los quimiorreceptores del gusto son células sensitivas, ¿cómo funcionan y cómo discriminan los sabores?

Comentario A.46. Cada célula sensitiva sólo se estimula ante un determinado sabor. Existe, pues, especificidad entre sabor y célula sensitiva. Pero los botones gustativos están constituidos por varias de estas células, por lo que pueden detectar varios sabores. De forma similar ocurre con las papilas, ya que están formadas por botones diferentes y por células quimiorreceptoras variadas, de forma que una papila puede detectar sabores distintos. Así, los diversos sabores son percibidos en todas las papilas, esto es, en toda la lengua.

No obstante, en cada papila priman los quimiorreceptores de un tipo, por lo que, de alguna forma, están especializados en un determinado sabor. Así hay una cierta coincidencia entre la detección de sabores en determinadas zonas de la lengua y la ubicación de las papilas gustativas.

Las sustancias químicas se disuelven en la saliva y a través del poro de los botones gustativos entran en contacto con las células sensitivas. Allí interaccionan con los receptores del gusto y con la proteína gustoducina que cataliza las reacciones que desembocan en un cambio de polaridad de la membrana celular, el cual es conducido hasta el nervio.

Los sabores salado y ácido actúan a través de los iones sodio Na^+ e hidrógeno H^+ que directamente producen la despolarización de la membrana de la célula sensitiva.

Se sugiere la existencia de un nuevo sabor: el umami, que se encuentra asociado al glutamato, aminoácido de las proteínas de la carne.

A.47. Relación entre el gusto y el olfato

En el sabor de los alimentos intervienen el gusto y el olfato. El gusto, a través de la impresión de las papilas gustativas. El olfato se activa cuando las moléculas volátiles que se desprenden alcanzan los receptores olfativos de la cavidad nasal. La lengua sólo puede identificar dulce, salado, ácido y amargo. En cambio, los receptores del olor pueden reconocer miles de olores diferentes.

Idea una experiencia que demuestre que el gusto y el olfato interactúan al identificar un sabor.

Al comer un alimento, ¿cómo puede ser impresionado el olfato?

Comentarios A.47. Con los ojos cerrados, para no identificar por la vista, y la nariz tapada, probamos pequeños fragmentos de diversos alimentos: manzana, pera, zanahoria, etc., y observaremos que no los podemos reconocer, pues nos falta el concurso de uno de los sentidos que intervienen en su identificación. Lo mismo podemos hacer con frutos secos variados. Al destaparnos la nariz notamos el sabor con toda su intensidad. Algo similar ocurre cuando nos resfriamos, que es muy difícil identificar entre alimentos que tienen texturas similares.

El olfato se impresiona porque las moléculas volátiles ascienden por detrás del paladar hacia las fosas nasales, dado que existe comunicación entre ambas cavidades.

Lo que nos podemos preguntar es lo siguiente: la boca y las fosas nasales están comunicadas por la faringe; entonces ¿por qué no percibimos el aroma de la comida, pues las partículas gaseosas pueden llegar a la pituitaria a través de las coanas?

A.48. Higiene del órgano del gusto

Las células sensitivas del gusto disminuyen con la edad y poseen los umbrales y la capacidad de adaptación a los estímulos semejantes a toda célula nerviosa.

Señala las precauciones que debemos tener para mantener el sentido del gusto en las mejores condiciones posibles a lo largo de nuestra vida.

La halitosis o mal olor de boca, puede ser producida por los microorganismos allí existentes que producen compuestos volátiles sulfurados. ¿Qué podemos hacer para evitarla?

Comentarios A.48. Algunas de las precauciones que debemos adoptar para cuidar el sentido del gusto son las siguientes:

No al tabaco. El humo del tabaco disminuye la percepción de los sabores, ya que irrita la mucosa lingual.

Ojo al alcohol. Las bebidas alcohólicas entumecen el sentido del gusto.

Cuidado con los alimentos de sabores fuertes. Los alimentos picantes o muy condimentados erosionan las papilas gustativas.

No ingerir comida excesivamente caliente. El calor afecta las células sensitivas y limita su sensibilidad.

Limpiarse la lengua. La halitosis o mal olor de boca se debe, en muchos casos, a los microorganismos de la boca, por ello es importante un cepillado lingual y un enjuague con colutorio al limpiarse los dientes. De todas formas, puede ser debido a otras causas, por lo que si persiste debemos consultar al médico.

LA PIEL Y EL SENTIDO DEL TACTO

A.49. Importancia del sentido del tacto

El tacto es un sentido muy desarrollado en la mayoría de los animales**,** ya que no sólo permite la relación con el exterior, sino que nos protege en determinadas circunstancias.

¿Puedes señalar la importancia del sentido del tacto?

Comentarios A.49. El sentido del tacto nos permite sentir lo que está en contacto con nosotros e incluso reconocerlo. A través de él nos ponemos en relación directa son los objetos y los organismos de nuestro entorno, estableciendo comunicación directa con ellos. Nos hace sentir caricias y ternura, nos acompaña en la degustación de los alimentos, nos permite buscar protección al percibir diferencias de temperatura, frío o calor, expresando las señales convenientes para que nuestro organismo reaccione ante ellas, y emite la señal de alerta del dolor ante presiones fuertes.

A.50. Ubicación del sentido del tacto

Cada sentido posee unos receptores sensoriales que se ubican en un determinado órgano y en un lugar del cuerpo que resulte idóneo.

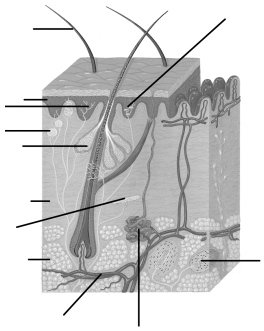
Teniendo en cuenta que los receptores sensitivos del tacto son mecanorreceptores, ¿dónde se localiza el órgano del tacto? ¿Lo ubicarías en otro lugar del cuerpo? ¿Por qué?

Comentarios A.50. Su ubicación está en la piel, difundido por toda ella. Esto representa una ventaja frente a la posibilidad de concentración en un solo punto o en una zona, ya que de no ser así podríamos estar quemándonos y no enterarnos, o estar siendo mordidos por un depredador y no sentirlo.

A.51. Anatomía de la piel

Sabemos que la piel está formada por tres capas: epidermis, dermis e hipodermis, y que en ella se sitúan los receptores sensitivos del tacto.

En el presente esquema se observan las partes más importantes de la piel. ¿Puedes identificarlas e indicar las funciones más significativas de cada una de ellas?



Comentarios A.51. La piel posee tres capas; epidermis, dermis e hipodermis. En la dermis se ubican los receptores sensitivos del tacto (Perlemuter, 1998; Netter, 2003).

En el esquema aparece la epidermis con:

El estrato basal o capa germinativa, con los melanocitos y los queratinocitos. Esta capa está formada por células en continua reproducción, enviando nuevas células hacia el exterior.

La capa espinosa donde las células se aplanan en su viaje hacia el exterior. Poseen gránulos de melanina que protegen de las radiaciones solares.

La capa granulosa. En ella aparece la queratina, que protege de los roces y erosiones. Entre las células hay lípidos que evitan la entrada de agua.

La capa córnea. Son restos celulares con queratina, que se van desprendiendo. Proporciona protección y su grosor es entre 0,02 y 0,5 mm.

En la dermis se encuentran los vasos capilares, los pelos y sus músculos erectores, las glándulas sudoríparas y las sebáceas, y los distintos receptores táctiles, cada uno con capacidad de recibir un diferente estímulo:

Frío → Corpúsculo de Krause

Calor → Corpúsculo de Ruffini

Presión → Corpúsculo de Vater-Pacini

Roce → Corpúsculo de Meissner.

Dolor → Terminación nerviosa libre

En la hipodermis se encuentran acumulaciones de grasa, por lo que posee una función de aislante térmico.

A.52. Fisiología del tacto

El tacto es un órgano de los sentidos cuyos receptores sensitivos son mecanorreceptores y termorreceptores, pero cada corpúsculo está capacitado para recibir un único tipo de estímulo: presión, frío, calor, dolor, etc.

¿Cómo puedes averiguar la situación de estos corpúsculos en la piel?

¿De qué forma puedes conocer si hay distinta sensibilidad hacia un determinado estímulo en diferentes partes del cuerpo?

¿Poseen el mismo funcionamiento todos los tipos de receptores sensitivos de la piel?, o dicho de otra manera, ¿actúan igual los receptores de la temperatura que los de la presión?

Comentarios A.52. Para comprobar la relación existente entre densidad de receptores táctiles y sensibilidad hacemos la siguiente experiencia con un compañero/a: tomamos un compás y en una zona de la piel le aplicamos las dos puntas con una determinada apertura. Esta apertura la vamos haciendo mayor hasta que la persona, sin mirar, detecte que existen dos puntas y no una.

Esta experiencia la repetimos en diferentes zonas de la piel: dorso y palma de la mano, brazo, antebrazo, etc.

Asímismo, podemos aplicar una punta previamente enfriada con un hielo, o caliente, para comprobar la densidad de los corpúsculos de Krause o de Ruffini en distintas zonas de la piel. Observaremos que cuando se detecta una clase de estímulo en un punto no se detecta otro, pues el lugar está ocupado por un corpúsculo determinado.

El funcionamiento de los distintos receptores es el mismo. Sólo varía el origen de su estímulo.

A.53. El sentido del tacto en el reino animal

El tacto parece el sentido más sencillo de todos al carecer de un órgano sensitivo concreto y poseer una gran variedad de receptores distribuidos por todo el cuerpo. Sin embargo, en la naturaleza encontramos diversas posibilidades de recibir información mecánica del exterior.

Investiga la existencia de diferentes receptores táctiles entre los animales.

Comentarios A.53. Las posibilidades de encontrar receptores del tacto diferenciados y distintos a los de los humanos son muchas. A título de ejemplo podemos citar:

Las medusas poseen células especializadas con un filamento venenoso en su interior.

Los moluscos tienen tentáculos.

Los anélidos, sin ojos, poseen gran cantidad de pelos sensibles distribuidos por todo el cuerpo.

Los insectos disponen de sensilios (una o varias sedas conectadas a una célula nerviosa) distribuidos por antenas, patas y cuerpo.

Los peces poseen la ya conocida línea lateral...

A.54. Higiene de la piel

La piel es el órgano más extenso del cuerpo, ya que posee una superficie de 1,6 m^2 y un peso de 4 kg que conviene cuidar para que pueda realizar sus funciones con la mayor perfección posible.

Dada su extensión y su ubicación frontera del organismo, presenta diversos problemas que debemos tener en cuenta para su prevención. ¿Cuáles son? ¿Qué medidas de prevención puedes señalar para cuidar la piel?

Comentarios A.54. Los problemas más importantes de la piel son:

Los efectos nocivos de los rayos ultravioleta del sol. Aparte del broceado, produce manchas y lunares que se pueden convertir primero en queratosis y luego en melanomas. Es conveniente seguir la regla ABCDE en la observación de los lunares (A=Aspecto, B=Borde, C=Color, D=Desarrollo o tamaño, E=Evolución o rapidez en los cambios).

El acné, que consiste en una hipersecreción de las glándulas sebáceas (por las hormonas andrógenas, por estrés, etc.), una obturación del poro de salida por un tapón de queratina, una proliferación bacteriana y una inflamación.

El mal olor corporal. Los restos celulares producto de la descamación de la piel, más el sudor y el polvo producen suciedad que se acumula en la piel. Si sobre ésta crecen las bacterias aparece el mal olor.

Ante estos y otros problemas típicos de la piel podemos señalar los siguientes consejos que permiten su protección, evitando así la aparición y evolución negativa de estos problemas:

Buena alimentación, equilibrada y variada.

Higiene corporal con ducha diaria.

Precaución con el sol. Para ello debemos usar cremas solares, gafas, gorras y evitar la sobreexposición directa.

Cremas hidratantes para evitar el agrietamiento de la piel.

Cambio de ropas y lavado frecuente para impedir el mal olor corporal.

Secar bien los pies para no ser atacados por los hongos.

Lavarse después de jugar con los animales mascotas.

Evitar la aparición de los piojos manteniendo las medidas higiénicas del cuero cabelludo lavándose el pelo varias veces a la semana y comprobando que no hay liendres.

A.55. Aplicaciones sociales

Ya sabemos en qué consiste y cómo funciona el sentido del tacto.

¿Qué aplicaciones socioculturales podemos encontrar a nuestros conocimientos relacionadas con el tacto?

Comentarios A.55. Entre las aplicaciones que podemos citar se encuentran:

EL ALFABETO BRAILLE. Las personas que no ven, desarrollan el sentido del tacto de tal modo que pueden "leer" a través de él. Por ello se ha inventado un abecedario especial que les facilita esta tarea.

LAS HUELLAS DACTILARES. Cada persona tiene unas huellas dactilares únicas y exclusivas formadas por las crestas y valles que la piel forma en la yema de nuestros dedos, lo cual sirve para su identificación.

"VER" CON EL TACTO. El sentido del tacto nos permite conocer las dimensiones y las formas que tienen los objetos y por ellas poder reconocerlos, sustituyendo de esta manera a la propia vista.

CONCLUSIONES Y RECAPITULACIÓN

A.56. Ubicación de las sensaciones

Constantemente estamos recibiendo información del mundo que nos rodea. Pero no nos limitamos a registrarla, sino que la experimentamos como sensaciones, "hacemos sentido" del mundo que nos rodea. Nuestros órganos de los sentidos –ojos, oídos, nariz, lengua y piel– reciben diversos tipos de energía de nuestro entorno, la transforman en impulsos nerviosos que viajan hasta el cerebro, el cual interpreta estos impulsos y los registra en nuestra consciencia (Jonas, 1999).

Los impulsos nerviosos de los diferentes órganos sensoriales son similares. El cerebro los distingue por el camino que siguen a través del sistema nervioso y por su destino en el cerebro. Los impulsos nerviosos procedentes del ojo provocarán una sensación visual incluso si el estímulo es diferente a la luz. Un golpe en el ojo, por ejemplo, hará que una persona vea "estrellas".

Indica los diferentes caminos que siguen los estímulos que nos llegan del exterior hasta llegar al cerebro, especificando las áreas de recepción de dichos estímulos.

Comenta la frase del célebre filósofo alemán: "Nuestros sentidos no nos engañan, no porque siempre juzguen bien, sino porque nunca juzgan" E. Kant.

Comentarios A.56. Se trata de una actividad de resumen y conclusión en la que nos podemos detener en las diferentes áreas sensitivas del cerebro.

Cuando la luz entra en el ojo, el cristalino produce la focalización en la retina, la cual, a través de los conos, capta el color y gracias a los bastones capta la forma y el movimiento. La imagen formada en la retina es transformada en impulso nervioso que viaja al cerebro por el nervio óptico. Una vez llega a la zona óptica del cerebro, este impulso nervioso es transformado en una imagen visual que corresponde al mundo externo.

El oído externo dirige las ondas sonoras, que son básicamente vibraciones, hacia el tímpano que vibra en respuesta a ellas. Las ondas que produce el tímpano son transmitidas a la cadena de huesecillos del oído medio y éstos las comunican a la cóclea, caracol lleno de fluido, que las convierte en impulsos nerviosos y de esta manera viajan al cerebro a través del nervio acústico.

La lengua y la nariz responden a estímulos químicos. La lengua es nuestro órgano del gusto y los sabores se dividen en cuatro grupos básicos: dulce, salado, amargo y ácido. Las papilas gustativas detectan las sustancias químicas y el estímulo lo convierten en impulso nervioso que lo transmiten al cerebro a través del nervio gustativo. Los nervios de la parte delantera de la lengua envían información de la temperatura y del tacto al cerebro. El cerebro combina esta información con la procedente de las papilas gustativas. Ésta es la razón por la que la comida caliente sabe diferente de la comida fría.

Es difícil separar el gusto del olfato. Nuestro sentido del olfato es mucho más sensible que el del gusto y es muy importante para la memoria, pues una brizna de olor puede evocar grandes recuerdos. Los receptores del olor están localizados detrás y ligeramente por encima del puente de la nariz. Una persona con buen sentido del olfato puede percibir hasta 10.000 olores diferentes.

A través de nuestra piel percibimos el dolor, la temperatura y la presión. El sentido del tacto actúa como una señal de advertencia para el cuerpo. Cuando tocamos algo caliente, la señal va a la médula espinal y, sin pasar por el cerebro, se elabora la respuesta que se dirige directamente a los brazos para que retiren la mano en un movimiento que llamamos reflejo.

De alguna forma podemos decir que somos como son nuestros sentidos, pues todo nuestro aprendizaje, memoria y creatividad en la que se implica el cerebro se basa en nuestra percepción sensorial del mundo. También podemos decir que estamos solos con nuestros sentidos, pues nunca podemos saber si el color que vemos es el mismo que ven los demás, o si la canción que oímos les suena igual que a nosotros.

Sin embargo, como dice Kant, se requiere una estructura que traduzca, integre, memorice y elabore las respuestas adecuadas para poder sobrevivir y adaptarse, y ésta es el cerebro pensante. Las áreas cerebrales de recepción e integración de los estímulos sensitivos las podemos encontrar en el libro "El Cerebro" (1987).

A.57. Los sentidos como sistema de comunicación

Normalmente, los órganos de los sentidos sirven como elemento para la entrada de datos (input) del mundo exterior. Pero también sirven para emitirlos (output), formando parte del sistema de comunicación que tenemos con nuestro entorno.

El siguiente diálogo de Jenofonte, que pone en boca de Sócrates y su discípulo Paraíso, expresa la idea de la emisión de mensajes por los sentidos:

Sócrates: Lo que es más atractivo, más gracioso, más amable, más capaz de provocar añoranza y deseo del ser humano, la expresión moral del alma ¿cómo la representas?, ¿o no es representable?

Parrasio: ¿Cómo sería representable, Sócrates, no teniendo proporción determinada, ni color, no siendo, en una palabra, visible?

Sócrates: Pero, ¿no ocurre que en un mismo hombre las miradas expresan, ya sea amor, ya odio?

Parrasio: A mí me lo parecen.

Sócrates: Entonces, ¿esto no se podría representar en los ojos?

Señala de qué forma los órganos de los sentidos pueden emitir mensajes hacia el exterior.

Comentarios A.57. Son muchas las acciones de comunicación en las que los órganos de los sentidos intervienen como emisores de estímulos; entre ellas podemos señalar: los ojos con la mirada pueden expresar sentimientos o estados anímicos, el tacto con las caricias, los saludos, el olor con el perfume corporal que sirve de reconocimiento y atracción, el gusto al lamer, besar o mamar de los pequeños con la madre, son algunas de las acciones de los sentidos que emiten información hacia el exterior.

A.58. Recapitulación

Después de un trabajo tan extenso como el realizado es interesante preparar algún documento en el que se concreten las ideas más importantes.

Elaborar un mural de cada uno de los sentidos en el que aparezca lo más importante y lo que más haya llamado la atención.

Comentarios A.58. Para la realización de esta actividad, la clase se puede dividir en cinco grupos y cada uno de ellos centrarse en un sentido. Luego, puede haber una exposición al resto de la clase del trabajo efectuado.

Referencias bibliográficas en este programa de actividades

AA.VV. (1987). *El Cerebro*. Barcelona: Ed. Prensa Científica, Col. Libros de Investigación y Ciencia.

BARNES, R. (1979). *Zoología de los Invertebrados*. México: Ed. Interamericana.

BERKALOFF, A., BOURGUET, J., FAVARD, P. y GUINNEBAULT, M. (1983). *Biología y Fisiología celular*. Barcelona: Ed. Omega, Col. Omega.

BRAVO, B. y ROCHA, A. (2004). Aprendiendo sobre la luz y el color en segundo ciclo de enseñanza general básica *Revista de Educación en Ciencias*. Vol. 5(1), 43-46.

COSTANZO, L. (1999). *Fisiología*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana Editores.

DAWKINS, R. (1998). *Escalando el monte improbable.* Barcelona: Ed. Tusquets.

DIXON, D. (1982). *Después del hombre. Una zoología del futuro*. Barcelona: Ed. Blume.

ECKERT (1999). *Fisiología animal. Mecanismos y adaptaciones*. Madrid: cuarta edición, Ed. McGraw-Hill Interamericana.

ESCHER, M. C y ESCHER, R. (1985). *Movimiento y metamorfosis. Un intercambio de cartas*. Ámsterdam.

GIL, J., SUERO, M. I., PÉREZ RODRIGUEZ, A. L. y SOLANO, F. (2003). Preconcepciones en óptica: su persistencia en niveles universitarios. *Revista de Educación en Ciencias*. Vol. 4 (1), 17-20.

GUYTON, A. (1998). *Tratado de Fisiología Médica*. Madrid: Ed. McGraw-Hill Interamericana.

HILL, R. W. y WYSE, G. A. (1992). *Fisiología Animal*. Madrid: Ediciones Akal.

JONAS, A. R. (1999). *Las respuestas y las preguntas de la ciencia*. Barcelona: Ed. Crítica.

KANIZSA, G. (1986). Gramática de la visión. Percepción y pensamiento. Barcelona. Ed Paidós Comunicación.

NETTER, F. H. (2003). *Atlas de Anatomía Humana*. Barcelona: Ed. Masson.

ORS, M. (2004). Dar otro sentido a los sentidos. *Aula de Innovación Educativa,* 128, 31-33.

PERALES, F. J. (1997). Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 233-244.

PÉREZ RODRÍGUEZ, A. L., SUERO, M. I., PARDO, P. J. y GIL, J. (2003). Cómo hacer comprensibles los dibujos que suelen ilustrar la formación de imágenes *Revista de Educación en Ciencias,* Vol. 4(2), 70-73.

PERLEMUTER, L. (1998). *Anatomo-fisiología*. Barcelona: Ed. Masson.

SAURA, O. y DE PRO, A. (1999). ¿Utilizan los alumnos esquemas conceptuales en la interpretación del sonido? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 193-210.

SECKEL, A. (2000). *La Mirada Fantástica*. Madrid: Ed. H. Kliczkowski.

Otras Voces

¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad actual?

Reflexiones y propuestas de ***Pedro Cañal*** *en torno al capítulo 1*

De acuerdo con el planteamiento y desarrollo de las ideas que se exponen en este capítulo, hay un aspecto básico sobre el que creemos interesante profundizar en la reflexión, y es el que se sugiere con la pregunta: ¿por qué hablar de alfabetización científica?, ¿qué añade dicha expresión a la de educación científica? Los autores abogan por la necesidad de *"ir más allá de la habitual transmisión de conocimientos científicos"*, suscribiendo la idea de que la educación escolar relativa a las ciencias debe concebirse como *"ciencia para todos"*, lo que implica dar un nuevo enfoque curricular a esta disciplina que permita no sólo el desarrollo generalizado de los principales aprendizajes conceptuales comúnmente perseguidos, sino también una adecuada aproximación a la naturaleza de la ciencia y de la práctica científica y poner énfasis en las relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente. Todo ello con el fin de hacer posible la participación de los ciudadanos en la deliberación y decisiones a adoptar ante los problemas socioambientales que surgen en la situación actual de creciente deterioro y emergencia planetaria que vivimos.

Ante las ideas anteriores, hemos de resaltar, en primer lugar, la pertinencia de un nuevo enfoque de la educación relativa a las ciencias, que considere la necesidad de abordar en clase problemas significativos, contextualizados en el entorno cotidiano. Unos problemas que, por su naturaleza, suelen desbordar los límites de las disciplinas científicas tradicionales y llevan a relacionar las perspectivas de la ciencia con las propias de otros campos de la cultura, como la tecnología, las ciencias sociales o los principios éticos, entre otros. Tales planteamientos integradores gozan ya de cierta tradición en la innovación pedagógica, pero su interés actual parece más reforzado cada día. En el ámbito de la didáctica de las ciencias se han puesto ya de manifiesto anteriormente en reflexiones y materiales de enfoque CTS y en diversos proyectos curriculares actuales, como INM (6-12) (Travé, Cañal y Pozuelos, 2003) o el Proyecto 2061 (A.A.A.S., 1993), tratando de proporcionar contextos de construcción del saber adecuados para ampliar la significatividad y las posibilidades de aplicación de los aprendizajes en múltiples situaciones vivenciales.

El desarrollo de la alfabetización científica reclama, desde este punto de vista, el diseño y puesta en práctica de propuestas expresamente encaminadas a promover la construcción de esquemas de comprensión y actuación en alguna medida transdisciplinares, es decir, que estimulen a los escolares a considerar conjunta y coherentemente esquemas interpretativos, aproximaciones metodológicas y criterios axiológicos de diversa procedencia, pues todos ellos serán necesarios en el tratamiento de los nuevos problemas que se propone trabajar en clase.

Lo anterior no quiere decir, en modo alguno, que el desarrollo de los objetivos de la alfabetización científica exija adoptar opciones curriculares que diluyan o disminuyan la relevancia y especificidad de la formación científica. Por el contrario, de lo que se trata es de lograr un tipo de formación científica de mayor validez y ambición en sus planteamientos. Una formación que no resulte útil exclusivamente para el ámbito escolar, sino que también lo sea para al conjunto de los contextos de desenvolvimiento de los sujetos y que proporcione a los mismos, progresivamente, el estatus de personas científicamente alfabetizadas. Pero no sólo, como suele enfatizarse, a la hora de participar en las decisiones sociales, sino también en el ámbito de las actuaciones cotidianas personales, ante problemas de consumo, contaminación, relaciones personales, alimentación, salud, actividad política, etc., en las que también escasean frecuentemente las valoraciones y decisiones bien fundamentadas.

El avance de la cultura integrada que propugnamos, rechazando la vigencia de las barreras entre el humanismo clásico y la ciencia, y también entre conocimiento académico y conocimiento para la vida, no sólo exige, a nuestro entender, los cambios curriculares y didácticos antes mencionados, sino además un sólido compromiso de los profesionales implicados en la alfabetización científica en extender el predominio del pensamiento racional en todos los ámbitos en que éste ha demostrado su mayor utilidad para las personas, grupos e instituciones sociales.

Ante la persistencia e incluso expansión actual de formas de pensamiento y actuación irracionales o expresamente anticientíficas, de fuerte influencia en nuestro contexto social, creemos que estas posiciones constituyen un obstáculo de primer orden para el desarrollo de la alfabetización científica (Cañal, 2004). Aunque es evidente que las componentes no racionales de nuestra personalidad, pensamiento y actuación deben tener un amplio campo de expresión y valoración en terrenos como la literatura, el arte, el juego, la religión y otras muchas facetas humanas, no lo es menos que, en determinados ámbitos y situaciones, su presencia resulta en la actualidad claramente inconveniente y rechazable. Particularmente en aquellas circunstancias en que las personas o instituciones sociales tienen necesidad de conocimientos, criterios o pautas de actuación bien contrastados, que proporcionen una base sólida para tomar decisiones y actuar cuando es realmente importante elegir la mejor opción.

La consulta a un presunto adivino o vidente ante una decisión importante; el apoyo oficial a la organización de procesiones o rogativas para combatir la sequía; la negativa de muchos gobiernos a aceptar que personas de un mismo sexo puedan firmar contratos matrimoniales; el hecho de que muchas personas eviten viajar los días 13 de cada mes o crean firmemente en la relevancia de su fecha de nacimiento o su buena o mala suerte, como factor causal en la explicación de lo que les pueda suceder; la prohibición o el rechazo de la investigación sobre clonación terapéutica aduciendo que resulta antinatural o atenta contra la vida, etc., son ejemplos, junto con otros muchos, de situaciones que

indican la pervivencia de creencias infundadas y de prácticas irracionales que deberían disminuir su presencia, hasta desaparecer, pues en nada pueden contribuir a aumentar la validez y eficacia contrastada de nuestras actuaciones ante los problemas individuales y colectivos que hemos de afrontar.

Por último, en síntesis, subrayar que es obvio que la alfabetización científica no persigue que los ciudadanos posean los mismos conocimientos especializados que los científicos, sino lograr que la componente científica de nuestro saber y nuestra actuación se desarrolle suficientemente y en forma relacionada con otras, para lograr las claves que nos permitirán conseguir perspectivas integradas de los problemas, así como respuestas más autónomas y racionalmente fundamentadas. Un objetivo del que, por cierto, no quedan exentos los propios científicos, encerrados a veces en visiones reduccionistas de los complejos problemas socioambientales e incapaces de desbordar el estrecho marco de su especialización. Y también, en ocasiones, férreamente apegados y fieles a criterios ajenos a la propia racionalidad de la ciencia.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 1

A.A.A.S. (1993). Avances en el conocimiento científico. www.project2061.org

CAÑAL, P. (2004). La alfabetización científica: ¿necesidad o utopía? *Cultura y Educación*, en prensa.

TRAVÉ, G., CAÑAL, P. y POZUELOS, F. J. (2003). Proyecto curricular Investigando Nuestro Mundo (6-12). *Investigación en la Escuela,* 51 (monográfico sobre este proyecto).

Otras Voces

¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos?

Reflexiones y propuestas de ***Andoni Garritz*** *en torno al capítulo 2*

Resulta innegable que es necesario remontar este conjunto de visiones deformadas acerca de la ciencia y la tecnología para enfrentarnos con éxito a una educación científica con tintes de modernidad, que encare con conocimiento de causa el rechazo a la educación científica. El problema es el gran cúmulo de lecturas que requieren las profesoras y los profesores para lograr esta nueva visión de la ciencia. Además, son éstas unas lecturas del campo de la filosofía y la historia de la ciencia, es decir, de una cierta dificultad para el profesorado. De aquí el valor de esta síntesis presentada en el segundo capítulo de esta obra.

Es una idea extraordinaria presentar este libro como un "*libro-taller*", con el uso de "*propuestas de trabajo*". Así se involucra a los lectores de una forma protagónica y se sugieren discusiones que merecen la atención del colectivo de profesores.

Ahora bien, yo incluiría dentro de las visiones deformadas de la ciencia la concepción histórica previa a Thomas Kuhn, quien la caracteriza como la acumulación de conocimientos que gradualmente y de forma paulatina van incorporándose al bagaje de la ciencia: "El desarrollo científico se convierte en el proceso gradual mediante el que los conceptos han sido añadidos, solos y en combinación, al caudal creciente de la técnica y de los conocimientos científicos, y la historia de la ciencia se convierte en una disciplina que relata y registra esos incrementos sucesivos y los obstáculos que han inhibido su acumulación" (Kuhn, 1962, p. 21). La obra de Kuhn está ciertamente citada en este capítulo, pero no se profundiza sobre ella. Por ello es que pienso que sea de provecho para los lectores contar con una formulación que intente ofrecer una visión sintética (basada en Pérez Ransanz, 1999).

La tesis kuhniana

Se parte de la base de que las diversas disciplinas científicas se comportan de acuerdo con un patrón general. Dicho patrón comienza con una etapa "preparadigmática", en la cual coexisten diversas escuelas que compiten entre sí por el dominio del campo. Entre las escuelas existe muy poco acuerdo con respecto a la caracterización de los objetos de estudio, los problemas que hay que resolver, las técnicas y procedimientos que han de utilizarse, etc. Este período termina cuando el campo de investigación se unifica bajo la dirección de un mismo marco de supuestos básicos, que Kuhn llama "paradigma". Los diversos investigadores llegan a la conclusión de que uno solo de los enfoques competidores es tan prometedor que abandonan los demás y lo adoptan como la base de su propia investigación.

El consenso alrededor de un paradigma marca el inicio de una etapa de "ciencia normal", en la que los científicos parten del paradigma y resuelven cada vez problemas más complejos, haciendo del enfoque teórico del paradigma aceptado algo más preciso y mejor articulado. Durante la investigación "normal" el marco de supuestos básicos (el paradigma) no se considera problemático ni sujeto a revisión, se acepta sin discusión.

Contrariamente a sus propósitos, la investigación normal, con su creciente especialización y extensión del campo de aplicaciones, conduce, tarde o temprano, al planteamiento de problemas o anomalías que se resisten a ser resueltos con las herramientas conceptuales o instrumentales del paradigma establecido. Al surgir estas anomalías puede empezarse a pensar que algo anda mal en el fondo y que sólo un cambio en los supuestos básicos permitirá encontrar una solución. Esta etapa en la que se pone en duda la eficacia y la corrección del paradigma vigente es la etapa "de crisis".

Con la crisis comienza la ciencia "extraordinaria", esto es, la actividad de proponer estructuras teóricas alternativas que implican un rechazo o una modificación de los supuestos aceptados hasta entonces. En estos períodos en que, como dice Kuhn, "los científicos tienen la disposición para ensayarlo todo", proliferan las propuestas alternativas. El período de crisis termina de alguna de las siguientes maneras (Hoyningen-Huene, 1993): 1) el paradigma en tela de juicio se muestra finalmente capaz de resolver los problemas que provocaron la crisis; 2) ni los enfoques más radicalmente novedosos logran dar cuenta de las anomalías, por lo cual éstas se archivan en espera de una etapa futura, en la que se cuente con mejores herramientas conceptuales e instrumentales; 3) surge un paradigma alternativo que parece ofrecer una solución a las anomalías, y comienza la lucha por lograr un nuevo consenso.

Kuhn describe un cambio de paradigma como una "revolución científica". Al describirlo como "una revolución", Kuhn cuestiona que la elección entre teorías rivales sea una cuestión que pueda resolverse mediante algún procedimiento efectivo (o algorítmico) de decisión. Es decir, se trata de una elección que no se puede resolver apelando exclusivamente a la lógica y la experiencia neutral. Los cuerpos de conocimiento separados por una revolución son "inconmensurables", esto es, no son completamente traducibles entre sí. Las diferencias que acompañan a la inconmensurabilidad son diferencias en los compromisos básicos de los paradigmas: diferencias en los criterios sobre la legitimidad y el orden de importancia de los problemas; diferencias en las leyes que se consideran como fundamentales; diferencias en la red de conceptos a través de la cual se estructura el campo de investigación y se organiza la experiencia; diferencias en los supuestos sobre qué entidades y procesos existen en la naturaleza, y diferencias en los criterios de evalua-

ción de la teoría. Este aspecto de la inconmensurabilidad ha sido integrado recientemente a las ciencias de la educación, dentro de la teoría del cambio conceptual, ya que las concepciones alternativas de los alumnos resultan inconmensurables con las científicas y esto hace difícil su transformación (Hoyningen-Huene y Sankey, 2001).

Después de una revolución aparece un nuevo paradigma que vuelve a ser aceptado por la comunidad científica, y se empieza de nueva cuenta una etapa de ciencia normal. Así, una vez que una disciplina ha entrado en su madurez, pasa repetidamente a través de la secuencia: ciencia normal-crisis-revolución-nueva ciencia normal.

Otras ideas

Como otra contribución al debate sobre estas visiones deformadas de la ciencia y la tecnología, quiero simplemente agregar algunas referencias bibliográficas.

Para empezar, un segundo libro de Alan F. Chalmers (1992), además del de 1982, en el que pone énfasis en los problemas del método y plantea una dimensión política y social de la ciencia. Este autor resulta de una claridad extraordinaria, en sus primeros capítulos al menos, por lo que es muy recomendable su lectura.

Otra discusión interesante sobre el método científico es la de Ruy Pérez Tamayo (1998), autor que resulta ser también sumamente legible y que resume de forma magistral los trabajos de Bridgman, Eddington, Popper, Lakatos, Kuhn y Feyerabend.

Sobre aspectos de la discusión de ciencia vs. tecnología recomiendo los trabajos de León Olivé (1985), de José Antonio López Cerezo (1998) y de José Antonio Acevedo (1997, 1998).

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 2

ACEVEDO, J. A. (1997). "Cómo puede contribuir la Historia de la Técnica y de la Tecnología a la educación CTS". En R. Jiménez y A. Wamba, Eds. *Avances en la Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 287-292. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva. Una versión electrónica de este artículo puede consultarse en http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo3.htm.

ACEVEDO, J. A. (1998). Tres criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. En E. Banet y A. de Pro (Eds.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias.* Vol I. DM Murcia, 7-16. Una versión electrónica de este artículo puede consultarse en http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo12.htm.

CHALMERS, A. F. (1982) *¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Una valoración de la naturaleza y el estatuto de la ciencia y sus métodos*. México: Siglo XXI Editores.

CHALMERS, A. F. (1992) *La ciencia y cómo se elabora.* México*:* Siglo XXI Editores.

HOYNINGEN-HUENE, P. y SANKEY, H. (Eds.) (2001). *Incommensurability and Related Matters*, V. 216, Boston: Boston Studies in the Philosophy of Science.

HOYNINGEN-HUENE, P. (Editor) (1993). Reconstructing Scientific Revolutions. Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science. Chicago: The University of Chicago Press.

KUHN, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions.* Chicago: The University of Chicago Press. En español (1971). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

LÓPEZ CEREZO, J. A., LUJÁN, J. L. Y GARCÍA-PALACIOS, E. M. (Eds.) (1998). *Filosofía de la tecnología*. Madrid: Organización de Estados Iberoamericanos, Colección "Temas de Iberoamérica".

OLIVÉ, L. (1985). Conocimiento, producción y explotación. *Investigación humanística,* 79-99. México: UAM-I.

PÉREZ RANSANZ, A. R. (1999). *Kuhn y el cambio científico* México: Fondo de Cultura Económica.

PÉREZ TAMAYO, R. (1998). *¿Existe el método científico?* México: Fondo de Cultura Económica, Colección "La ciencia para todos" n° 161.

Otras Voces

¿Cómo empezar?

*Reflexiones y comentarios de **João Praia** en torno al capítulo 3*

En la propuesta de trabajo que hemos desarrollado en el libro *"Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciencias"* (Cachapuz, Praia y Jorge, 2002), consideramos que existen tres momentos clave en la orientación de aprendizaje como investigación (ensino por pesquisa):

1. Problematización.
2. Aplicación de las metodologías de enseñanza.
3. Evaluación del aprendizaje y de la enseñanza.

Cabe señalar que se trata de momentos que no se organizan de acuerdo con una secuencialidad estricta, sino que se articulan en ciclos de enseñanza-aprendizaje, para posibilitar los retornos que el profesor considere necesarios.

El capítulo que estamos comentando ("¿Cómo empezar?") corresponde al primer momento, que hemos designado como problematización, que constituye un elemento clave en esta perspectiva de enseñanza y en el que encontramos tres polos en interacción recíproca:

i) El polo del currículo, que representa los saberes de naturaleza diversa considerados esenciales para la formación de los estudiantes y que incluye conocimientos conceptuales, capacidades, actitudes y valores. Este currículo, que puede ser más o menos flexible, debe ser presentado en sus líneas maestras a los estudiantes, explicitando los saberes que se espera lleguen a alcanzar. Ello no sólo favorece una visión estructural y dinámica del currículo por parte del profesor, sino que también ayuda a los alumnos a fijar cuadros de referencia para sus aprendizajes.

ii) El polo de los saberes académicos, personales y sociales que los alumnos ya poseen (en un momento dado de su escolaridad) y que en modo alguno se limitan a sus ideas previas (como parecía admitirse en el modelo de aprendizaje como cambio conceptual). Tales saberes contemplan conocimientos, capacidades, actitudes y valores, incluyendo capacidades en el dominio del pensamiento (cognitivas y metacognitivas), que el alumno revela poseer (o no). Dichos saberes pueden ser más o menos congruentes con los previstos en el currículo intencional, lo que repercutirá en la mayor o menor tensión existente

entre ambos polos. Es además posible que tales saberes sean diversos atendiendo al contexto sociocultural en el que se insertan los alumnos. Una diversidad que debe ser valorada (aunque no siempre lo sea) como un factor de enriquecimiento, puesto que posibilita formas diferentes de abordar los problemas.

iii) El polo de las situaciones problemáticas, vinculadas –siempre que ello es posible– con la dimensión CTSA, que van a constituir el punto de partida de los procesos de aprendizaje que se emprenden (en el marco del aprendizaje como investigación), dando más sentido a lo que se aprende. Tales situaciones problemáticas pueden ser suscitadas por el profesor o por los alumnos. En el primer caso es importante que el profesor tenga en cuenta el nivel previsible de dificultad de las situaciones problemáticas escogidas, que tiene que ser adaptado tentativamente a sus alumnos (previsible "zona de desarrollo próximo").

Estos tres polos pueden representarse como los vértices de un triángulo de tensiones que expresa una concepción sistémica de interacciones permanentes entre los mismos, a través de las cuales pueden "aproximarse" o "alejarse" entre sí.

Así, la vertiente **currículo intencional ↔ saberes de los alumnos** representa, en esencia, el esfuerzo educativo a realizar, bajo la orientación del profesor, para promover el desarrollo de sus alumnos, en la perspectiva de una educación científica actual. Ello supone poner en valor, además de los disciplinares, los saberes que el alumno ya posee y trae consigo a la escuela, incluyendo capacidades, actitudes y valores. Lo que diferencia de nuevo el modelo de aprendizaje por investigación de las propuestas de cambio conceptual, básicamente centradas en el aprendizaje de conceptos.

La distancia entre estos dos polos tiende a disminuir en la misma medida en que se va abandonando un currículo intencional único de índole normativa -que se aplicaría por igual a cualquier alumno, ignorando sus saberes previos- en favor de un currículo más flexible y menos prescriptivo, abierto a problemáticas locales y enriquecido por la investigación educativa y, muy en particular, por la investigación didáctica.

En la vertiente **currículo intencional ↔ situaciones problemáticas en el ámbito CTSA** se pueden catalogar, para una unidad programática dada, situaciones problemáticas propuestas por el profesor y/o que los estudiantes consideren de interés abordar. Hay currículos, como el propuesto por el Proyecto Salters, lanzado en los años noventa en el Reino Unido, que toma en consideración problemas y contextos familiares para los alumnos, susceptibles de movilizar su interés, con vistas a la profundización científica de las temáticas propuestas. En este caso, la distancia entre los dos vértices del triángulo de tensiones se reduce sustancialmente.

En el caso de los currículos formales estrictamente académicos, la articulación es mínima y sólo alumnos académicamente motivados encontrarán respuesta a la pregunta tan común de "¿y esto para qué sirve?". Por lo que respecta al profesor, son previsibles mayores dificultades con relación al nivel de abstracción y complejidad de las temáticas abordadas. Y es precisamente aquí, conviene insistir, donde una sólida formación científica del profesor en las áreas de la docencia puede hacerle más disponible para abordar adecuadamente tales situaciones de dificultad superior.

Por lo que respecta a la vertiente **saberes de los alumnos ↔ situaciones problemáticas en el ámbito de las relaciones CTSA,** el profesor habrá de estar atento a qué conceptos, capacidades, actitudes y valores muestran los alumnos frente a las situaciones consideradas y decidir sobre qué trabajar prioritariamente. Se trata, en realidad, de una

primera evaluación de carácter diagnóstico con la que se ayuda al alumno a tomar conciencia de los saberes de varios órdenes que ya posee y de los que necesita desarrollar y con la que sientan las bases del plan de actividades a emprender. Ello constituye, pues, un trabajo compartido. Se pueden utilizar diversos métodos, como, por ejemplo, dibujos, listas de ideas, redes de conceptos de los alumnos, etc., lo que permite no sólo registrar sus ideas, sino también la forma como las relacionan entre sí. La identificación de capacidades, actitudes y valores plantea mayores dificultades, pero, como mostramos en el libro ya citado (Cachapuz, Praia y Jorge, 2002), existen algunos instrumentos útiles.

El distanciamiento entre estos dos polos tiende a disminuir en la medida en que las situaciones problemáticas corresponden a genuinos intereses y saberes de los alumnos. De aquí se deriva que una sólida formación didáctico-pedagógica del profesor es fundamental para una buena resolución de esta vertiente.

Una consideración adecuada, por el profesor y los alumnos, de los tres polos referidos permite que surja una o varias cuestiones-problema para el posterior desarrollo del proceso de enseñanza/aprendizaje. También aquí el profesor tiene un papel fundamental, ayudando a los alumnos a formular cuestiones de interés, en particular las generadoras de acción, conduciendo a un proceso de búsqueda de respuestas posibles, más o menos largo, más o menos complejo, más o menos directamente apoyado por el profesor.

Es importante señalar que el profesor debe primeramente fomentar un análisis cualitativo de la situación estudiada que asegure una adecuada conceptualización. No obstante, y siempre que sea posible, en función de las temáticas a abordar y de sus condiciones de trabajo, debe prestar atención al papel que la cuantificación puede tener para una adecuada conceptualización o el uso del trabajo experimental requerido por algunas cuestiones.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 3

CACHAPUZ, A., PRAIA, J. y JORGE M. (2002). *Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências.* Lisboa: Ministério da Educação.

Otras Voces

¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica?

Comentarios y reflexiones de ***Armando Sánchez*** *en torno al capítulo 4*

El trabajo desarrollado por Carles Furió, José Payá y Pablo Valdés Castro documenta ampliamente las investigaciones relativas al trabajo experimental en la educación preuniversitaria. Esta condición adquiere un realce mayor ante la escasez de referencias bibliográficas que dan cuenta de resultados de investigación educativa, propuestas innovadoras, reflexiones o reconceptualizaciones[1] en torno a la temática. Para ejemplificar lo anterior analizaré dos fuentes generales relacionadas con la enseñanza de la ciencia:

1) El libro *Retos y perspectivas de las ciencias naturales en la escuela secundaria*, coordinado por Guillermina Waldegg (2003), producto del seminario latinoamericano *La enseñanza de las ciencias en la escuela secundaria como parte de la educación básica: diagnóstico y perspectivas*, organizado entre la Secretaría de Educación Pública y la UNESCO-OREALC en Cholula, México, del 27 al 30 de junio de 2001. En dicho libro sólo encontré los siguientes apartados relacionados con el trabajo experimental, aclarando que no existe un capítulo especial sobre este tema: "La concepción desactualizada del docente acerca de la ciencia y sus métodos" (*ibíd*, p 68) en el capítulo relacionado con la actualización docente; "Enseñanza de la Física con Tecnología (Efit)" (*ibíd*, p 87-88); "Desarrollo de un modelo pedagógico que integre el uso de los entornos tecnológicos" (*ibíd*, p 98), y "Algunas características que deben tomarse en cuenta para el diseño de las actividades que integren entornos tecnológicos" (*ibíd*, p 99), en el capítulo sobre la enseñanza de las ciencias en entornos tecnológicos. "Materiales para el trabajo experimental" (*ibíd*, p 111 y 116); "Unidades didácticas y paquetes didácticos experimentales" (*ibíd*, p 120-121) y algunas referencias puntuales en el capítulo sobre materiales y medios educativos[2].

[1] Se excluyen las múltiples propuestas de "*hands on*" o la multiplicidad de actividades "prácticas" que se quedan sólo en el "hacer", sin involucrar las otras esferas del aprendizaje.

[2] Por cierto, la escasez de referencias se repite al investigar también el tema relacionado con los materiales educativos. En el libro de Waldegg et al. este capítulo fue el más difícil de documentar. Menciono lo anterior ya que el capítulo comentado de este libro-taller tiene aspectos interesantes que pueden influir en la reflexión para replantear y mejorar los materiales educativos, en especial los libros de texto.

2) Las comunicaciones del *VI Congreso Internacional sobre Investigaciones en la Didáctica de las Ciencias*, realizado en Barcelona del 12 al 15 de septiembre de 2001 (ICE, 2001), en las cuales sólo se encontraron 13 relacionadas con el trabajo experimental en la educación preuniversitaria (respecto a un total de 241). De acuerdo a cómo los autores describen sus trabajos, procedí a clasificarlos en tres categorías y agruparlos por disciplinas, encontrándose los siguientes resultados:

	General	Biología	Física	Química
Trabajo experimental	-	-	2	-
Actividades	2	1	1	3
Trabajo práctico	2	2	-	-

Bajo esta perspectiva, reitero la importancia de la aportación del capítulo 4 de Furió et al.

Por otra parte, con el objeto de provocar el debate acerca del papel del trabajo experimental en la educación científica preuniversitaria, voy a desarrollar dos asuntos:

I. La necesidad de analizar el trabajo experimental como parte de una estrategia de enseñanza y aprendizaje más amplia.

II. Las potencialidades de esta estrategia para favorecer que el alumno construya representaciones científicas de ciertos fenómenos.

I. La necesidad de analizar el trabajo experimental como parte de una estrategia de enseñanza y aprendizaje más amplia: ¿trabajo experimental, prácticas de laboratorio, trabajo práctico o actividades?

Un primer aspecto a discutir en este punto es el porqué restringir el asunto al trabajo experimental sin considerarlo como parte de una estrategia de enseñanza y aprendizaje más fructífera y específica. Lo anterior, más allá del conjunto de actividades básicas del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, analizadas en la segunda parte de este libro: *cómo empezar*, *la resolución de problemas de lápiz y papel*, *el aprendizaje significativo de conceptos y teorías*, *de la recapitulación y consideración de las perspectivas abiertas* y *el papel de la evaluación*.

Al iniciar de esta manera surge un primer acotamiento que puede expresarse con la siguiente pregunta: ¿para qué realizar actividades en la educación en ciencias? Entonces, al ligarlas a las estrategias de enseñanza y aprendizaje, en un sentido amplio como lo plantea Monereo (1998), la respuesta tiene que ver con la necesidad de desarrollar un contenido[3] específico del currículo (que puede ser un tema o, de preferencia, un subtema) y con un objetivo didáctico claro, o sea, cualquier actividad que se introduzca en la estrategia deberá contribuir al logro del objetivo definido para ésta. Si además las actividades se enmarcan dentro de la resolución de situaciones problemáticas abiertas, con un enfoque de enseñanza orientado a la investigación, como proponen los autores de este libro-taller, éstas pueden ser más amplias, diversas y desarrolladas con mayor profundidad.

[3] Se emplea la acepción amplia del término contenido, o sea, contemplando lo conceptual, lo procedimental y lo actitudinal (Nieda y Macedo, 1998).

Otras inquietudes a discutir son:

1. ¿Por qué asociar necesariamente las situaciones a problemas? Tal vez sería mejor aludir a situaciones en general, como retos, sin necesariamente hablar de problemas. Con este enfoque me parece que se contribuiría a combatir la visión negativa y catastrofista de la vida, tan extendida en el mundo de los jóvenes, en mucho como resultado del comportamiento de nosotros los adultos (UNESCO, 2002).
2. ¿Hay que comprometer una propuesta educativa con un solo enfoque de enseñanza? En este sentido se sugiere discutir la conveniencia de combinar varios, como apuntan autores como Pozo y Gómez (2000), quienes, además, plantean ventajas y limitaciones de seis de ellos.

Una vez aclarado este asunto nodal, se propone analizar la diversidad de actividades que se pueden desarrollar[4], además de las experimentales. Obviamente se está pensando en actividades que refuercen el desarrollo de los conocimientos, habilidades y actitudes relacionados con la actividad científica, también entendida ésta en un sentido amplio, como han planteado los autores de este libro y que rebasan la concepción positivista (Rutherford, 1997). Así pues, otros ejemplos de actividades son:

- Identificación de diversos procedimientos para recolectar, interpretar, analizar, comprender, organizar y comunicar información (Monereo, 1998; Pozo y Postigo, 2000), más allá de las requeridas en el trabajo experimental. Por ejemplo, aplicar los procedimientos antes descritos en una investigación documental de diversas fuentes y mediante entrevistas para saber, entre otras cosas, de dónde viene el agua o los productos alimenticios naturales más consumidos, como parte de una situación relevante en la comunidad, definida entre el docente y sus alumnos.
- Recolección de muestras de recursos bióticos o abióticos para entender las interacciones entre diversos seres vivos con su entorno y así favorecer el cuidado y mejoramiento del ambiente. Monereo (1998) también enfatiza la importancia de las estrategias para la toma de decisiones, aspecto fundamental al plantearse la solución de situaciones.
- Representaciones o juegos que permitan poner en práctica ciertos conceptos. Por ejemplo, el proceso de selección natural puede emularse con corcholatas, hojas de árboles u otros objetos de diferentes colores sobre un fondo que permita enmascarar algún color dominante.
- Modelación, tanto con materiales de bajo costo o reciclables como con programas informáticos poderosos, que incluyen sensores y permiten hacer simulaciones para

[4] Las propuestas de actividades que a continuación se presentan parten de la experiencia de diez años, tanto en la elaboración de los materiales educativos para sustentar la reforma educativa de México de 1993, como en la elaboración del balance de esta experiencia (Waldegg et al., 2003; SEP, 2001; Sánchez et al., 2001; Bonilla, 2000) y el desarrollo de una primera etapa del diseño curricular para la educación secundaria (diciembre 2001-mayo 2004), en el marco de la Reforma Integral de la Educación Secundaria (SEP, 2001). Dentro de los materiales elaborados de 1994 a 2000 se encuentran: los libros de texto gratuitos y libros para el maestro de Ciencias naturales de 3° a 6° grados de educación primaria; los libros para el maestro y paquetes didácticos para cursos de actualización de biología, física y química, para educación secundaria; paquetes didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales en la escuela primaria y para la educación ambiental en la escuela secundaria (un planteamiento transversal), así como las propuestas para la enseñanza de las ciencias con tecnología en educación secundaria que implican el desarrollo de capacidades cognitivas superiores, con programas poderosos, y que rebasan el uso de las computadoras como pizarrones caros con programas tutoriales. Los interesados en estos materiales pueden escribir a alguna de las siguientes direcciones electrónicas: asmartin@sep.gob.mx, rvaldez@sep.gob.mx (Ricardo Valdez, Subdirector de Física y Química) o melena@sep.gob.mx (María Elena Hernández, Subdirectora de Biología).

entender conceptos o desarrollos complicados. Con la última opción planteada se potencializa el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC), ya que, además de democratizarse la enseñanza de la ciencia y la tecnología, se desarrollan capacidades cognitivas superiores (Waldegg, 2003; McFarlane, 2003; Rojano, 2002; Roschelle y Jackiw, 1997). En general, trabajar modelaciones permite también avanzar en la construcción de representaciones de ciertos fenómenos por parte del alumno, como se tratará en el siguiente apartado.

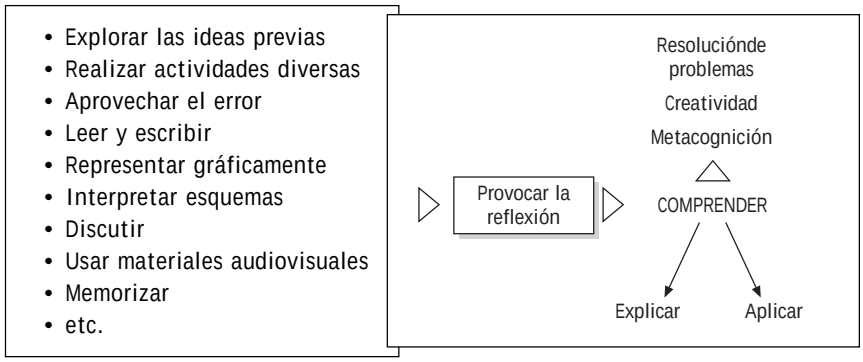
- Construcción de artefactos o instrumentos, como una actividad clave para desarrollar el saber hacer y que a nivel bachillerato suele representar retos interesantes y motivadores para los alumnos (Maiztegui et al., 2002).

II. Las potencialidades de las estrategias de enseñanza y aprendizaje para favorecer que el alumno construya representaciones de ciertos fenómenos. Dificultades para construir representaciones científicas.

Un asunto crucial al tratar de explicar los fenómenos o procesos naturales es su dificultad de origen, o sea, por la contradicción dialéctica de la misma naturaleza. Tal como lo afirmó Kosik (1979) desde la década de los sesenta (de acuerdo a la edición original en checo), y que se puede resumir de la siguiente manera: el fenómeno oculta a la esencia y por esa razón son necesarias la ciencia y la filosofía. Dado que nos movemos en el mundo de la seudoconcreción, dice Kosik, para tratar de comprenderlo hay que develarlo, lo que implica recorrer muchos caminos indirectos. Es más, develar la esencia o causa de los fenómenos demanda necesariamente introducirse en el microcosmos y en el macrocosmos, los cuales son ajenos a nuestras percepciones y requieren para su comprensión de un alto grado de abstracción. Esta dificultad de origen hace muy difícil la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en los niveles preuniversitarios. Sin embargo, el desarrollo de las ciencias cognitivas y de la investigación educativa[5] proporcionan elementos para saber cómo hacerlo y cómo apostar a una enseñanza centrada en la comprensión (Perkins, 2000). La intención es lograr aprendizajes significativos en los alumnos, sin dejar de reconocer que es una tarea compleja. Perkins refiere las llamadas "actividades de comprensión" como aquellas que permiten "hacer ciertas cosas con... [el] conocimiento... [y] que revelan comprensión y la desarrollan" (*ibíd* p 82). Dichas actividades son: la explicación, la ejemplificación, la aplicación, la justificación, la comparación y el contraste, la contextualización y la generalización. Asímismo, se concede un peso importante a las "imágenes mentales", como "un tipo de conocimiento holístico y coherente: cualquier representación mental unificada y abarcadora que nos ayuda a elaborar un determinado tema" (*ibíd* p 85). Con base en estas consideraciones, retomo la sugerencia que hice en el primer apartado, de circunscribir las actividades como parte de un esquema más general para tratar de ayudar en la comprensión de los fenómenos estudiados que, obviamente, implican conceptos "duros" de la ciencia.

El siguiente esquema pretende ejemplificar lo antes planteado y centra la atención en torno a la comprensión en dos de las actividades propuestas por Perkins: explicar y aplicar.

[5] Para una revisión sobre dichos aportes se recomienda el artículo de Anna Maria Pessoa de Carvalho (2004), que involucra el qué, el porqué y el cómo enseñarlas, así como la relación entre didáctica de las ciencias y prácticas de enseñanza. También los libros de Pozo y Gómez (2000) y de Nieda y Macedo (1998) son buenas referencias sintéticas de dichos desarrollos.



A manera de reflexión final

Para terminar retomo lo que Duit (1998) señala en el sentido de que si la ciencia y la tecnología no fueran objeto de estudio en las escuelas, los logros de otras áreas del currículo –tradicionalmente denominadas como "las importantes", léase matemáticas y español– tendrían que ajustarse hacia abajo, pues serían muy limitadas las situaciones de aplicación relacionadas con el mundo real. Y que sean objeto de estudio implica considerar, necesariamente, el papel del trabajo experimental, como atinadamente se ha hecho en este libro-taller.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 4

BONILLA, E. (2000). Reforma y calidad de la educación básica: el papel del currículo y de los materiales didácticos en la adquisición de las competencias básicas. *Memoria del quehacer educativo. 1995-2000*, SEP, (1) 91-125.

CARVALHO, A. M. (2004). Formación de profesores: es necesario que la Didáctica de las Ciencias incluya la Práctica de la Enseñanza. *Educación Química*, Vol. 15, n° 1, 16-23.

DUIT, R. (1998). Learning in science. From behaviourism towards social constructivism and beyond. *International Handbook of Science Education*, 671-688. Dordrecht: Kluwer.

ICE (2001). *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VI Congreso, tomo I. Comunicaciones. Barcelona: ICE.

KOSIK, K. (1979). *Dialéctica de lo concreto*. México-Buenos Aires: Editorial Grijalbo.

MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS MARTÍ, A., GUISASOLA, J., LÓPEZ-CEREZO, J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.

McFARLANE, A. (2003). *El aprendizaje y las tecnologías de la información*. México: SEP/Aguilar, Altea, Taurus, Alfaguara (Biblioteca para la Actualización del Maestro).

MONEREO, C. (Coord.) (1998). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje. Formación del profesorado y aplicación en el aula.* México: SEP/Cooperación Española (Biblioteca del Normalista).

NIEDA, J. y MACEDO, B. (1998). *Un currículo científico para estudiantes de 11 a 14 años*. México: SEP/OEI-UNESCO/Santiago (Biblioteca del Normalista y Biblioteca para la actualización del maestro).

PERKINS, D. (2000). *La escuela inteligente. Del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente*. México: SEP/Gedisa (Biblioteca para la Actualización del Maestro).

POZO, J. I. y Postigo, Y. (2000). *Los procedimientos como contenidos escolares. Uso estratégico de la información.* Barcelona: Edebé.

POZO, J. I. y GÓMEZ, M.A. (2000). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.

ROJANO, T. (2002). Mathematics learning in the junior secondary school: student's access to significant mathematical ideas. *Handbook of International Research in Mathematics Education* [English, Lyn (Ed.)]. New Jersey y London: Lawrence Erlbaum.

ROSCHELLE, J. y JACKIW, N. (1997). *Technology design as educational research: Interweaving imagination, inquiry and impact*. http://www.simcalc. umassed.edu.

RUTHERFORD, J. (Coord.) (1997). *Ciencia: conocimiento para todos, Proyecto 2061. American Association for the Advancement of Science*. México: SEP/Oxford University Press-Harla (Biblioteca del Normalista y Biblioteca para la Actualización del Maestro).

SÁNCHEZ, A., HERNÁNDEZ, M. E. y VALDEZ, R. (2001). "Situación actual y perspectivas de la educación en ciencias en la escuela secundaria". México: *Educación 2001*, año VI, núm. 69, p 45-55.

SEP (2001). *Programa Nacional de Educación 2001-2006*. México: SEP. También disponible en la página de la Secretaría de Educación Pública: www.sep.gob.mx/wb2/sep/sep_2734_programa_nacional_de

WALDEGG, G. (Coord.) (2003). *Retos y perspectivas de las ciencias naturales en la escuela secundaria*. México: SEP/Biblioteca para la Actualización del Maestro.

UNESCO (2002). *¿Qué educación secundaria para el siglo XXI?* Santiago, Chile: OREALC/UNESCO Santiago.

Otras Voces

¿Cómo convertir los problemas de lápiz y papel en auténticos desafíos de interés?

Reflexiones y propuestas de ***F. Javier Perales Palacios*** *en torno al capítulo 5*

Los autores de este capítulo dedicado a la resolución de problemas (R. P. en adelante) y su transformación han sido pioneros en la propuesta de trabajo que aquí desarrollan, habiendo tenido ocasión de fundamentarla, difundirla entre el profesorado en activo y contrastarla a través de diversas tesis doctorales y sus consiguientes publicaciones. Por otra parte, dicha propuesta forma parte de un enfoque más ambicioso y sugerente para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias entendida como un proceso de investigación[6] . Nos encontramos por tanto con un planteamiento de la R. P. esencialmente coherente con un modo de entender la educación científica.

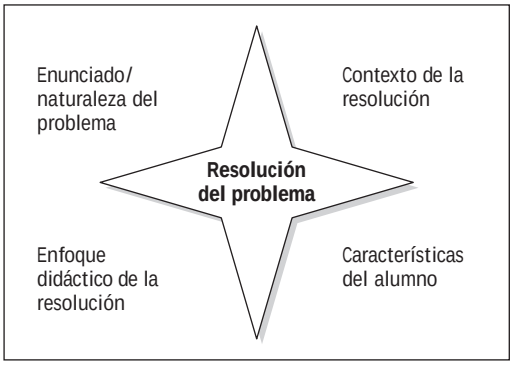
Mis breves comentarios van a iniciarse con unas consideraciones generales acerca de la resolución de problemas, prosiguiendo con otras relacionadas con el capítulo del libro. La R. P. constituye un ritual docente escasamente cuestionado por los profesores y autores de libros de texto desde el siglo XIX. De hecho, pueden encontrarse enunciados de problemas extraídos de libros de mediados de dicho siglo prácticamente análogos a los utilizados por los más recientes[7]. Esto nos debería hacer pensar seriamente acerca de las causas que han podido provocar este comportamiento rutinario en contraste con unos cambios sociales, los más profundos en la historia de la humanidad.

Básicamente, el objetivo que se plantea uno al resolver problemas al modo tradicional es encontrar una solución o resultado. Esto en educación secundaria suele abordarse recurriendo a la resolución y evaluación mediante "problemas-tipo". Por el contrario, en la universidad se viene a hacer mediante "problemas-raros", es decir, aquellos que no se parecen en nada –o muy poco– a los resueltos en clase. En el primer caso se favorece el aprendizaje memorístico, en el segundo el fracaso académico, lo que aboca a muchos estudiantes a buscar costosos apoyos externos como los que ofertan las academias de

[6] Véase, p. ej., Gil D. (1993). Contribución de la Historia y la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias* 11(2), 197-212.

[7] Perales, F. J. et al. (2000). *Resolución de problemas*. Madrid: Ed. Síntesis, p. 57.

clases particulares. Resolver problemas de un modo eficiente es una tarea compleja en la que intervienen muchos factores. Un esquema clásico es el representado en la figura adjunta.



En este capítulo los autores adoptan la opción de centrarse en el "enunciado/naturaleza del problema" y, de forma colateral, en el "enfoque didáctico del profesor" y en el "contexto de la resolución". A continuación trataré de un modo más concreto algunos apartados del capítulo.

(1) **Introducción**. Tras el segundo párrafo, sugeriría añadir una propuesta de reflexión que se podría enunciar como "*para qué resolver problemas?, ¿qué lleva al profesorado a plantear, resolver o evaluar mediante resolución de problemas*?". Ese primer nivel de reflexión podría servir para tomar conciencia respecto al uso –y muchas veces abuso– que hacemos de la resolución de problemas en el aula, y las razones de ello.

(2) Los ejercicios, como el que se toma como eje de la propuesta de trabajo, a pesar del escaso potencial didáctico, son requeridos para un nivel básico de aprendizaje. En cierta forma, parecidos a los ejercicios físicos que los deportistas suelen seguir como parte de su protocolo de entrenamiento, son necesarios pero no suficientes para garantizar el éxito deportivo. Piénsese en la resolución de una raíz cuadrada o en el ajuste estequiométrico de una ecuación redox.

(3) Cuando en el penúltimo párrafo de este apartado, los autores se refieren al tratamiento dado por los libros de texto a la resolución de problemas, hemos de reconocer que la implantación en España de la reforma educativa promovida por la LOGSE en los años noventa, sí generó algunos cambios positivos en la naturaleza de los problemas[8].

(4) **Necesidad de un replanteamiento en profundidad**. El paso de la etapa II a la III (p. 6) no resulta fácil y es además la clave que distingue un enfoque inductivo del hipotético-deductivo en la R. P. Se hace preciso un análisis teórico previo por parte del alumno[9], consultando p. ej. el libro de texto o los apuntes del profesor, para que sea capaz de emitir hipótesis mínimamente fundamentadas y no meros artificios imaginativos, así como para enmarcar su contraste (etapa VI) a la luz de dicha teoría. Si, por el contrario, lo que pretenden los autores es sacar a la luz las ideas espontáneas de los estudiantes, entonces sí sería pertinente el planteamiento que realizan.

[8] Perales, F. J. (op. cit.), pp. 66-68.

[9] Ello es reconocido también por los autores en la etapa IV.

(5) En la etapa V se debería insistir en aspectos tales como escribir las ecuaciones, interpretar los símbolos, elaborar ilustraciones representativas de los fenómenos, introducir valores numéricos razonables, operar cuidadosamente, incluir el cálculo de errores[10], etc.

(6) **Un ejemplo de tratamiento de situaciones problemáticas abiertas**. ¿Qué papel se asigna al profesorado en esta metodología de R. P.? A mi juicio, se le exige seleccionar un número significativo y representativo de problemas abiertos que pudieran abarcar el temario de la asignatura, así como la constitución de los grupos de trabajo y su coordinación. Aunque los autores defienden una actuación poco intervencionista (p. 10), resulta, bajo mi punto de vista, esencial dirigirlos y entrenarlos durante los primeros meses, propiciando su progresiva autonomía en el enfoque de R. P. propuesto.

(7) Por último, como señalan Taconis y col. (2001)[11], para que la resolución de problemas mediante el trabajo en grupo sea exitosa debe ir acompañada de otras iniciativas, tales como las ayudas a los estudiantes para que construyan esquemas –p. ej., elaborando mapas conceptuales o modelizando el problema–, las orientaciones del profesor o una retroalimentación que les permita comprobar la bondad de sus actuaciones.

(8) **Bibliografía**. Resulta recomendable incluir la siguiente bibliografía en español:

OÑORBE, A. et al. (1993). *Resolución de problemas en Física y Química*. Madrid: Ed. Akal.

POZO, J. I. et al. (1994). *La solución de problemas*. Madrid: Ed. Santillana.

[10] Para evitar, entre otras cosas, el número de cifras no significativas que suelen aportar los estudiantes gracias al uso de las calculadoras.

[11] Taconis, R., Ferguson-Hessler, M. G. M. y Broekkamp, H. (2001). Teaching science problem solving: An overview of experimental work. *J. Res. Sci. Teach*. 38(4), 442-468.

Otras Voces

¿Cómo hacer posible el aprendizaje significativo de conceptos y teorías?

Reflexiones y propuestas de ***Anna María Pessoa de Carvalho*** *en torno al capítulo 6*

Los autores tienen plena razón cuando dicen que "un cambio conceptual no es posible sin un cambio metodológico"; sin embargo, podríamos complementar: "Un cambio metodológico no es posible sin un cambio de actitud por parte de los profesores en sus clases".

Los profesores deben saber construir actividades innovadoras que produzcan en los alumnos un cambio conceptual y metodológico con respecto a las ciencias; sin duda, ésta es una condición necesaria, pero además ellos deben saber dirigir los trabajos de los alumnos para que éstos alcancen realmente los objetivos propuestos. Es importante que los profesores se involucren en la planificación de actividades de enseñanza que sean problemáticas para los alumnos a los que van destinadas, pero es necesario también que puedan vivenciar las propuestas pedagógicas innovadoras de tal modo que se enteren de los detalles y las dificultades que tales propuestas plantean. El saber hacer, en estos casos, muchas veces es más difícil que el hacer en sí (planificar la actividad), y merece todo un trabajo de asistencia y de análisis crítico de las clases.

El "hacer" debe pensarse como un taller en que los profesores van a poner a prueba sus hipótesis de enseñanza, donde la relación "actividad planificada-práctica de enseñanza" debe estar siempre presente. Todos los conceptos de "reflexión en acción" y "reflexión sobre la acción" (Schön, 1992; Zeichner, 1993) pueden y deben estimularse durante este tiempo en que los profesores, cuando proponen actividades de investigación orientadas a sus alumnos, proponen a la vez, para sí mismos, un cambio conceptual (en los conceptos de enseñanza y aprendizaje), metodológico y actitudinal de su trabajo en clase.

Otra línea de investigación proveniente de los estudios relativos al cambio conceptual, que está directamente relacionada al trabajo del profesor en tanto que orientador de las actividades de los alumnos, es la que analiza las discusiones en el aula: de los alumnos entre sí y de los alumnos con el profesor (Mortimer, 1998). El lenguaje del profesor es un lenguaje propio –el de las ciencias que se enseñan en la escuela, socialmente construidas y validadas– y una de las funciones de la escuela es introducir a los alumnos en ese nuevo

lenguaje, lograr que aprecien su importancia para dar un nuevo sentido a las cosas que ocurren a su alrededor, que entren en un mundo simbólico que representa el mundo real (Driver y Newton, 1997).

Para que cambie el lenguaje de los alumnos, y pasen de un lenguaje cotidiano a un lenguaje científico, los profesores deben dar oportunidad para que los estudiantes expongan sus ideas sobre los fenómenos estudiados, en un ambiente alentador, para que ellos adquieran seguridad y se impliquen en las prácticas científicas. Por esto es necesario crear momentos para que los alumnos se expresen en clase, prestar atención a estas participaciones y principalmente se requiere mucho cuidado del profesor cuando le contesta al alumno, para no ofrecerle de inmediato la respuesta correcta y así interrumpir toda la posible argumentación que el alumno podría construir. Mediante el habla, además de poder tomar conciencia de sus propias ideas, el alumno tiene también la oportunidad de ensayar el uso de un nuevo género discursivo, que conlleva características de la cultura científica (Capecchi y Carvalho, 2000).

Aprender es también apoderarse de un nuevo género discursivo, el género científico escolar, y para eso el profesor debe saber inducir a sus alumnos a argumentar, es decir, que sean capaces de reconocer las afirmaciones contradictorias, las evidencias que respaldan o no las afirmaciones, además de la capacidad de integrar los méritos de una afirmación. Este ambiente es propicio para que los alumnos empiecen a reflexionar sobre sus pensamientos, y aprendan a reformularlos con el aporte de los compañeros, mediando los conflictos por el diálogo y tomando decisiones colectivas.

Como muestran los autores de este capítulo, "se trata, en síntesis, de plantear el aprendizaje como un trabajo de *investigación*, a través del *tratamiento de situaciones problemáticas* relevantes para la construcción de conocimientos científicos". Son esas situaciones problemáticas las que brindarán las condiciones para que alcancemos un cambio de actitud en las clases de ciencias.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 6

CAPECCHI, M. C. V. M. y CARVALHO, A. M. P. (2000). Interações Discursivas na Construção de Explicações para Fenômenos Físicos em Sala de Aula. VII EPEF, Florianópolis

DRIVER, R. y NEWTON, P. (1997). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Paper prepared for presentation at the ESEARA Conference,* 2-6 septiembre, Roma.

MORTIMER, E. F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, vol. 20, nº 1, 67-82.

SCHÖN, D. (1992). Formar Professores como Profissional Reflexivo. En Os Professores e a sua Formação. [Coordinación de António Nóvoa]. Dom Quixote. Portugal. pp. 77-91.

ZEICHNER, K. (1993). A Formação Reflexiva dos Professores: Idéias e Práticas. Lisboa: Educa.

Otras Voces

¿Qué hacer antes de finalizar?

Reflexiones y propuestas en torno al capítulo 7 de ***Rómulo Gallego Badillo, Royman Pérez Miranda, Luz Nery Torres de Gallego, Rafael Yecid Amador Rodríguez y María Victoria Uribe***

Estudiado el capítulo número 7, denominado recapitulación y perspectivas, el Grupo de Investigación Representaciones y Conceptos Científicos (Grupo IREC), de la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá, D.C., Colombia, aporta los siguientes comentarios:

- El término recapitular vuelve sobre una tradición muy propia de los didactas, por cuanto hace alusión a retomar o a volver a considerar una temática que ha sido previamente trabajada.
- Tratar el problema de cómo históricamente las nuevas teorías o modelos científicos integran en sus estructuras conceptuales y metodológicas desarrollos logrados en otro campo de la producción del saber, aparentemente disímiles, constituye para los profesores de educación media un aporte que les abre posibilidades para la construcción de otra imagen de ciencia.
- Subyace a la propuesta la necesidad de un examen ético, o la exigencia de adentrarse históricamente en esta problemática, cuando se analiza cómo, de manera relacionada, tanto la sustitución de la propuesta de Copérnico por la ptolemeica, destronó al ser humano de la posición que le había otorgado la mirada bíblica y cristiana, como también la adopción de la teoría de la evolución, que lo redujo a ser una especie más entre tantas, producto de las leyes de la naturaleza, como las demás. Esto exigiría del profesor de ciencias una discusión con los estudiantes sobre la emergencia y consolidación del humanismo. Los seres humanos pertenecemos a una misma especie, y la supervivencia de ella dependerá, indispensablemente, de conclusiones que se deriven del estudio histórico del desarrollo de las ciencias, a partir de los primeros grados de los sistemas educativos.
- El punto de anclaje con las relaciones CTSA se encuentra enlazado con el ítem anterior. Al respecto, los profesores de ciencias, desde sus iniciativas, tendrían que abordar el estudio de que los productos de la investigación científica son mercancías, hoy mucho más que ayer, tanto como la información especializada misma, hasta el punto de que el acceso de la población, en general, a los beneficios de esos

productos pasa por la seguridad de una tasa de retorno que las transnacionales exigen como condición para financiar la investigación científica.

Los estudiantes de la maestría en docencia de la química, los de pregrado de la licenciatura en química y los profesores de educación básica y media, que hacen parte del Grupo IREC, frente a la solicitud de una lectura crítica del capítulo 7 aquí comentado, expresaron que éste se ubicaba en una dimensión histórico-epistemológica enclavada en las relaciones CTSA que antes ellos no habían considerado. Puntualizaron que, con todas las críticas que habría que hacerle, presentaba un abordaje novedoso y significativo para sus desempeños profesionales como profesores de ciencias, en los niveles considerados.

Otras Voces

¿Para qué y cómo evaluar?

*Reflexiones y propuestas de **Neus Sanmartí** en torno a capítulo 8*

INTRODUCCIÓN

Coincido totalmente con los autores del capítulo sobre la importancia de la evaluación en el aprendizaje en general y en el de las ciencias en particular. Como escribió Perrenoud (1991), los resultados de un proceso de enseñanza dependen más de cómo se va ayudando al alumnado a regular sus errores y dificultades que no de la genialidad de los otros tipos de actividades.

Al enseñar se pueden plantear trabajos prácticos muy sugerentes, problemas abiertos y contextualizados que capten el interés del alumnado, explicaciones que conecten con sus ideas y sean muy coherentes con el conocimiento científico experto, trabajos en grupo, uso de las TIC y de instrumentos como mapas conceptuales u otros, etc., pero si todo ello no va acompañado de actividades que promuevan la evaluación-regulación en las formas de "mirar" los fenómenos, en las formas de razonar y de hablar sobre ellos, en las formas de estructurar la cultura científica e, incluso, en las formas de emocionarse en relación a ella, podría ser que todas aquellas actividades no condujeran a aprendizajes significativos.

Por ello, entre todos los apartados del capítulo creo de interés centrar el análisis crítico en el que habla más específicamente de "la evaluación como instrumento de aprendizaje", y más para complementar ideas que no para ponerlas en crisis.

CARACTERÍSTICAS DE UNA EVALUACIÓN "PARA APRENDER"

Como se indica en el texto del capítulo, la primera característica que ha de tener una evaluación que pretende favorecer el aprendizaje es que **pueda ser percibida** por los estudiantes **como una ayuda real, generadora de expectativas positivas**. Pero el problema didáctico que se nos plantea a los profesores es el de cómo conseguir que esta expectativa se cumpla, es decir, que la evaluación promueva que se aprenda más y mejor y, además, encontrando placer en ello.

Entre los marcos teóricos generados para dar respuesta a este problema, uno de los que considero más sugerentes es el de la llamada **evaluación formadora** (de la que en el capítulo no se habla específicamente). Esta visión de la evaluación se fundamenta en la Teoría de la Actividad dada a conocer por Leontiev, discípulo de Vigotsky. Según esta teoría, una actividad (en este caso, la de aprender algo) se orienta a la consecución de unos objetivos, en relación a los cuales se anticipan y planifican distintas acciones y operaciones que se ponen en práctica en un cierto orden. Pero como generalmente no todo funciona a la perfección, para poder tener éxito se van regulando tanto las acciones que se aplican como los mismos objetivos previstos.

Es decir, para tener éxito en un aprendizaje es necesario haber interiorizado sus objetivos –qué vamos a aprender, por qué y para qué–, construir las operaciones necesarias para poder alcanzarlos y organizarlas, así como disponer de criterios de evaluación que posibiliten decidir si los objetivos son adecuados y si las operaciones previstas son válidas y se aplican adecuadamente.

A partir de estos presupuestos, Bonniol (1981) y Nunziati (1990), entre otros, plantearon la necesidad de aplicar una evaluación "formadora" que ayude al alumnado a pilotar su propio proceso de aprender a partir de favorecer que autorregule la representación que se hace de los objetivos y de los criterios de evaluación y su planificación de la acción, para dar respuesta a las situaciones problemáticas que se le plantean.

Así, por ejemplo, en el marco de dicha evaluación la finalidad importante no es evaluar cómo un alumno da respuesta a un problema, sino la de ayudarle a evaluar-regular si realmente percibe cuáles son los objetivos de aprendizaje, si sabe explicitar cómo hacerlo y por qué, en qué ha de pensar, qué pasos debe realizar, y si reconoce cuáles son los criterios que le permiten decidir si su actuación le posibilita llegar a dar una respuesta adecuada o no. Evidentemente, al final del proceso de aprender el estudiante tiene que saber dar respuesta a tareas concretas, pero mientras está aprendiendo tiene que regular aquellos aspectos que le posibiliten orientar adecuadamente su acción o, en términos de la Teoría de la Actividad, disponer de una buena "base de orientación".

Los profesores tendemos a aplicar secuencias de enseñanza basadas en plantear actividades que favorezcan el aprendizaje de los contenidos conceptuales y procedimentales necesarios para resolver determinadas tareas o dar respuesta a situaciones problemáticas. Cuando los estudiantes realizan dichas tareas o problemas, su respuesta es el objeto de evaluación y, a partir de ella, se plantean actividades de regulación (habitualmente llamadas de "recuperación"). En cambio, desde la evaluación formadora se persigue prevenir que no se tenga que "recuperar", regulando previamente la construcción del modelo que guía la resolución del problema (Veslin y Veslin, 1992).

Entre las concepciones de los profesores de ciencias que hemos de cambiar está la de suponer que los alumnos se representan adecuadamente cuál es el objetivo de las actividades de enseñanza que les proponemos. Por ejemplo, si se les pregunta en el laboratorio por qué realizan una determinada práctica, sólo algunos (los que tienen éxito) saben decir qué están aprendiendo y cuál es su finalidad. También cuando se parte de problemas muy contextualizados y relevantes socialmente, cosa importante en todo proceso de aprendizaje, generalmente sólo perciben como finalidad llegar a dar respuesta a dicho problema, pero no la de construir el conocimiento científico que les ha de permitir transferir el aprendizaje realizado a otros problemas similares. Si los objetivos del profesor no son compartidos por el alumnado, es difícil que el aprendizaje llegue a ser significativo.

Otra de las concepciones a revisar es la creencia de que no es bueno que los alumnos "sepan" los criterios de evaluación, y muchas veces se confunde el compartir dichos criterios con dar las "preguntas de examen". Hay profesores que incluso se enorgullecen de despistar a los alumnos en el momento de proponer preguntas de examen. Pero si se quiere que el alumno pueda regular su aprendizaje tiene forzosamente que haber construido una buena representación de los criterios de evaluación. Los alumnos que tienen éxito acostumbran a ser aquellos que ya desde el inicio de un proceso de aprendizaje reconocen tanto qué es aquello que el profesorado pretende que aprenda como lo que le dará importancia al calificar. En cambio, los que no tienen éxito nunca saben si están haciendo bien una tarea y necesitan constantemente la ayuda de alguien que les indique si lo están haciendo bien o no.

Consecuentemente, profesores y alumnos tambien deben cambiar la percepción de la función del error en el aprendizaje. En palabras de Astolfi (1999), el error es el punto de partida para aprender. Si no se cometieran errores no sería necesario plantear procesos de enseñanza-aprendizaje, y el mismo Einstein afirmaba que su trabajo consistía en detectar y superar los errores que cometía en la resolución de los problemas que se planteaba. Si los errores son necesarios para aprender, es importante que mientras se está aprendiendo no se penalicen, ya que si no se manifiestan no se podrá ayudar a superarlos. Por ello, se ha de gestionar el aula de forma que los alumnos no tengan miedo a expresarlos, ni se avergüencen de ellos (*Driver*, en Jiménez Aleixandre, 1988). De la misma forma, los estudiantes han de poder reconocer que algunas prácticas habituales, como las de copiar o disimular y ocultar sus ideas, no posibilitan aprender.

También debe cambiarse la idea de que el profesor "corrige" un trabajo. Una corrección de un error sólo puede llevarla a cabo la misma persona que lo ha cometido, por lo que los profesores sólo podemos detectar errores y ayudar al alumnado a entender sus causas y a poder superarlos. El reto en todo diseño de un proceso de enseñanza de las ciencias es llegar a conseguir que el alumnado detecte sus errores, entienda por qué los ha producido y tome sus propias decisiones para corregirlos.

Pero es muy difícil llegar a ser tan autónomo y autoevaluarse. Cuando alguien hace un trabajo considera que lo ha hecho bien o lo mejor que sabe, y no se plantea la posibilidad que él mismo pueda detectar y corregir los errores cometidos.

De aquí la importancia de las ayudas que proporcione el profesorado o los propios compañeros. El papel del profesorado es complejo, porque los estudiantes tienden a delegar en él las responsabilidades de la detección, e incluso del análisis, y se inhiben. Además, como generalmente su objetivo no es aprender sino aprobar, sólo buscan conocer la nota y no identificar en qué se han equivocado y por qué. Tal como puso de relieve el estudio de Butler (1988), la puntuación inhibe la regulación que pueden hacer los propios estudiantes, ya que cuando se les dan notas no se orientan a revisar su contenido, ni a entender por qué se equivocan, por lo que progresan muy poco (Black y Harrison, 2001a).

En cambio, en nuestra práctica hemos constatado (Jorba y Sanmartí, 1996) que las actividades de evaluación mutua son muy eficaces (Black y Harrison, 2001b), ya que el alumnado no confía en la revisión que hace un compañero y tiende a comprobarla. Al mismo tiempo, cuando revisa el trabajo de otra persona, tiende a reconocer más fácilmente errores (alguno de los cuales puede también haber cometido), haciendo bueno el dicho de que es más fácil reconocer la paja en ojo ajeno que la viga en el propio. Pero tanto, la

autoevaluación como la evaluación mutua requieren que se hayan construido los criterios de evaluación. Promover que los alumnos se evalúen sin criterios compartidos es perder tiempo.

A MODO DE CONCLUSIÓN

La cultura de la evaluación exige un cambio conceptual, cambios en las prácticas y cambios en los valores y emociones que la acompañan. No es de extrañar, por tanto, que Perrenoud (1993) titulara uno de sus artículos con un "No toquéis mi evaluación", ya que ponerla a revisión implica cambiar qué se enseña, las actividades, su orden, cómo organizar y gestionar el aula, cómo atender a la diversidad que pone de manifiesto, el valor que se da al error y al trabajo en grupo, los sentimientos que genera, el tipo de preguntas y problemas objeto de aprendizaje, etc.

Pero sólo cuando se afronta el reto que suponen tantos cambios es cuando la evaluación se traduce en una **ayuda real, generadora de expectativas positivas,** y se puede responder afirmativamente a los interrogantes que planteaba López (1991) sobre si **"¿es posible que la evaluación sea útil al profesorado en su actuación como enseñante, gratifique al alumnado en su aprendizaje y oriente a los dos en estos procesos?".**

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 8

ASTOLFI, J. P. (1999). *El error: un medio para enseñar.* Colección Investigación y Enseñanza, nº 15. Sevilla: Diada Editora.

BLACK, P. y HARRISON, C. (2001a). Feedback in questioning and marking: the science teacher's role in formative assessment. *School Science Review*, 82(301), 55-62.

BLACK, P. y HARRISON, C. (2001b). Self-and peer-assessment and taking responsability: the science sudent's role in formative assessent. *School Science Review,* 83(302), 43-49.

BONNIOL, J. J. (1981). *Déterminants et mécanismes des comportaments d'evaluation d'épreuves scolaires*. Thèse d'état. Univ. De Bordeaux, II.

BUTLER, R. (1988). Enhancing and undermining intrinsic morivation; the effects of task-involving ang ego-involving on interest and performance. *British Journal of Educational Psychology*, 58, 1-14.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1988). Entrevista a Rosalind Driver. *Cuadernos de Pedagogia*, 155, 32-35.

JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación contínua.* Madrid: MEC.

LÓPEZ, M. (1991). Evaluación en el área matemática. El marco teórico. *Acción Educativa,* 91, 5-14.

NUNZIATI, G. (1990). Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice. *Cahiers pédagogiques,* 280, 47-64.

PERRENOUD, P. (1991). Pour une approche pragmatique de l'évaluation formative. *Mesure et évaluation en éducation,* 13(4), 49-81.

PERRENOUD, P. (1993). Touche pas à mon évaluation! Pour un approche systémique du changement. *Mesure et évaluation en éducation,* 16(1,2), 107-132.

VESLIN, O. y VESLIN, J. (1992). *Corriger des copies*. Paris: Hachette Éducation.

Otras Voces

¿Cómo diseñar los contenidos de un tema o de un curso?

Reflexiones y propuestas de ***Raquel Katzkowicz*** *en torno al capítulo 9*

El capítulo "¿Cómo diseñar los contenidos de un tema o de un curso?" de Joaquín Martínez Torregrosa, Carlos Sifredo y Rafaela Verdú, nos propone un desafío largamente esperado por todos los que estamos de alguna forma vinculados con la educación científica, al sugerir un valiente cambio de postura en el aula de Ciencias.

A lo largo de las últimas décadas, la investigación en didáctica de las ciencias nos ha mostrado claras señales de que el cambio de rumbo era deseable para obtener mejores resultados a partir de nuestro quehacer, que obviamente se transformarían en mejores resultados en el aprendizaje de nuestros alumnos. Entendemos que este cambio, además de deseable, es absolutamente necesario para evitar el creciente número de estudiantes que se alejan de la opción de carreras científicas, así como el claro deterioro del interés y la sensación de dificultad a superar que se perciben en las aulas de ciencias en la secundaria, donde la imagen que reciben los alumnos es una imagen deformada y empobrecida de la ciencia, carente de los aspectos que hacen de la misma una aventura apasionante. Frente a esta situación, los docentes seguían siendo rehenes de la no-coherencia entre lo que mostraba la investigación y lo que, tanto los programas de formación docente como los programas de ciencias experimentales y los libros de texto de los que disponían, les proponían.

La invitación que realizan los autores en este capítulo es permitirnos utilizar una estrategia didáctica coherente con el modelo de aprendizaje de investigación orientada, y esto resignifica el enfoque que llevarían los docentes al aula de ciencias, transformando a la misma en un espacio en el que todos los protagonistas hacen realmente actividad científica, ya que estarían inmersos en la cultura científica. Se propone abandonar la presentación aproblemática de los temas, la separación entre teoría, práctica y problemas, sustituyéndola por una estrategia que actúe en paralelo con la actividad científica real, en la que esta separación es inconsistente y en la que el enfoque de ciencia, tecnología, sociedad y ambiente surge naturalmente, puesto que se jerarquiza una actividad auténtica, imbricada con la realidad del estudiante. Así, es posible presentar cada tema como un trabajo de investigación-innovación a partir de situaciones que atiendan los intereses

reales de los alumnos, y luego documentar y comunicar los resultados, dos acciones imprescindibles para los científicos pero muy poco frecuentes en el aula de ciencias.

Nos impresionó muy gratamente, además, encontrar una gran coherencia interna entre el planteamiento de este capítulo y la propuesta de la obra en su totalidad. Así, se da como lógica secuencia la problemática inicial que plantea el libro de la forma tradicional de enseñar ciencias con la propuesta de reorientación de las estrategias educativas, el desarrollo posterior del modelo propuesto y la sección que se dedica al "aterrizaje" a ejemplos ilustrativos, de la cual nuestro capítulo es una guía *muy abierta* a seguir.

Nos pareció muy importante en el trabajo el hecho de que se habilita, a través de la propuesta, al docente para trabajar como investigador, jerarquizando y profesionalizando así su tarea y haciéndola además más creativa y desafiante para él y sus alumnos. Se le invita en este sentido a reflexionar sobre su práctica, a trabajar desde la metacognición la propuesta didáctica, procurando mejorarla permanentemente motivando a sus jóvenes estudiantes en el aprendizaje de las ciencias. Así, se habla de una "intencionalidad didáctica guiada por una experiencia práctica docente reflexionada y los hallazgos de la investigación educativa".

Encontramos que un aspecto en el que se podría, tal vez, profundizar más es en las propuestas de evaluación alternativas que acuerdan con esta línea de trabajo. El uso de matrices de evaluación y autoevaluación en las recapitulaciones previstas, de portafolios para alumnos y docentes, de tareas de ejecución como, por ejemplo, pequeñas investigaciones, proyectos breves, entre otras, permitirían al docente contar con más elementos acerca de los niveles de comprensión alcanzados por sus estudiantes y los resultados de su propia práctica en esta nueva modalidad de trabajo. Esto permitiría, además, apuntar a la regulación y autorregulación de los aprendizajes de los alumnos y a su autonomía. Como recoge el propio capítulo, se trata de "lograr una total confluencia entre las situaciones de aprendizaje y de evaluación" (Pozo et al., 1992), ya que se diseña el itinerario de evaluación conjuntamente con el de aprendizaje como instrumento para impulsar y asegurar el avance en el problema tratado.

Otro aspecto que tal vez habría que delinear un poco más es la postura que toman los autores frente al tema de los conocimientos previos de los alumnos, acerca de los que la investigación ha sido tan profusa y las posturas han variado desde intentar su "sustitución", hasta el planteamiento del uso del conflicto cognitivo para su problematización, su aceptación como un modelo que persiste en paralelo y les permite a los alumnos también darle significado a la realidad que los rodea.

Por último, creemos que los autores deberían sugerir que este cambio que se propone venga acompañado por otro en la capacitación inicial y en servicio de los docentes, ya que como se plantea, esta modalidad de trabajo le exige al profesor un gran conocimiento de los temas y de la metodología de trabajo. Esto también debería acompañarse de cambios en las propuestas de los currículos de las asignaturas científicas, así como del material didáctico para los programas o propuestas programáticas correspondientes para que no resulte una aventura en solitario de algunos audaces profesionales de la educación.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 9

POZO, J. I., GÓMEZ, M. A., LIMÓN, M. y SANZ, A. (1992). *Procesos cognitivos de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la Química.* CIDE, MEC, Colección Investigadora.

Otras Voces

¿Cómo profundizar en el estudio de los cambios que ocurren a nuestro alrededor?

*Reflexiones y propuestas de **Jenaro Guisasola** en torno al capítulo 10*

Este capítulo 10 es particularmente útil porque podemos ver una aplicación de los capítulos anteriores en un tema concreto y referido a conceptos donde existen especiales dificultades de enseñanza-aprendizaje, como son el trabajo y la energía. Además, la estructura de la unidad didáctica permite al profesorado informarse de los objetivos y características de aplicación de cada actividad que son coherentes con los resultados de la investigación didáctica expuestos anteriormente y, en concreto, con el modelo de aprendizaje como investigación orientada.

La unidad didáctica comienza resaltando el interés que puede tener el estudio de la energía y el trabajo (actividades 1, 2 y 3), pero lo que la diferencia de otros materiales, que también comienzan resaltando el interés de la energía, es que los estudiantes pueden encontrar situaciones que fomenten su actitud positiva y motivación sobre la energía a lo largo de todo el tema, por ejemplo, entre otras, A.22, A.32 y A.41. Se propone un tratamiento que va abordando los mismos contenidos de forma sucesiva y cada vez analizándolos con mayor profundidad. Este tratamiento en espiral también se realiza a la hora de introducir los conceptos de energía y trabajo. Se comienza con un análisis cualitativo (apartado 1), para posteriormente operativizar los conceptos dentro de unas condiciones concretas. Esto permite tener en cuenta diferentes formulaciones de un concepto y su campo de validez. Se invita a los estudiantes a analizar una serie de cuestiones dentro de unas tareas concretas o situaciones problemáticas. Esto tiene una doble ventaja: por un lado, los estudiantes expondrán sus ideas y tendrán la oportunidad de cambiarlas con el objetivo de resolver un problema; por otro lado, las conclusiones a las que se llegue estarán limitadas a las condiciones en que se ha desarrollado el problema, lo que permite hacer ver a los estudiantes que las leyes y definiciones logradas no se utilizarán como "fórmulas mágicas" para cualquier situación y problema.

A lo largo del tema y de forma contextualizada en actividades, se proporciona al lector/a una amplia muestra de las concepciones alternativas más comunes y de los problemas de enseñanza más discutidos en la bibliografía, por ejemplo, las actividades 20 y

21 respecto al concepto de trabajo. No obstante, el objetivo de la información que se proporciona no es, en mi opinión, explicar cada uno de los tipos de errores conceptuales de los alumnos o cada cuestionario utilizado para su detección, sino informar de las líneas generales de razonamiento utilizadas por los estudiantes y dar una perspectiva general del lugar que ocupan los conceptos de energía y trabajo en el marco conceptual de la física. Se opta por introducir, acertadamente en mi opinión, de forma simultánea energía y trabajo antes de pasar a sus relaciones cuantitativas. No obstante, se debe precisar que ambos conceptos están relacionados pero son epistemológicamente diferentes, como sucede con la fuerza y la aceleración en dinámica o con fuerza eléctrica y campo eléctrico en electricidad (Furió y Guisasola, 1998). Es importante la insistencia que se hace (ver, entre otras, A.13 o A.44) en el análisis sistémico para los conceptos y relaciones. Un sistema puede ser cualquier conjunto de objetos que interacciona con su entorno. La relación $W = \Delta E_c$ **(1)** se entiende como que el cambio en la variación de energía cinética del sistema es el resultado de su interacción con el entorno. Cuando las fuerzas son conservativas tenemos que el trabajo realizado se puede expresar como $-DE_p$ y se puede concretar en $\Delta E_c = -\Delta E_p$ **(2)**. Entonces, $\Delta E_c + \Delta E_p = 0$, lo que implica que la energía total del sistema es una constante del movimiento del sistema (Hecht, 2003).

En los temas que conciernen al calor y al principio de conservación de la energía, que se desarrollarán en las siguientes unidades didácticas, emerge el problema de definir cuidadosamente los conceptos de energía, trabajo, calor y sus relaciones con el tema que acabamos de ver. Es necesario, en mi opinión, que el profesorado contextualice estas relaciones adecuadamente dentro del marco teórico. El problema surge de la relación entre la variación de energía interna del sistema y el principio de conservación de la energía. De acuerdo con Alonso y Finn (1997), la variación de la energía interna del sistema ΔU depende de su energía cinética E(C), de la energía de interacción entre los objetos del sistema E(I) y de la energía del propio sistema debido a modificaciones producidas por choques o agentes internos más la energía másica de los objetos E(P), es decir: $\Delta U = \Delta E(C) + \Delta E(I) + \Delta E(P)$. Además, de acuerdo con el principio de conservación de la energía, la variación de energía interna del sistema es igual a la energía intercambiada por el sistema con el entorno: $\Delta U = \Delta E_{intercambiada}$. La energía intercambiada se expresa en diferentes componentes, como el trabajo absorbido por el sistema (Q), el trabajo realizado sobre el sistema (W) y la radiación absorbida por los objetos del sistema (R). Cada término con el signo positivo o negativo, según el sistema gane o pierda energía. La componente radiación, desafortunadamente, no suele mencionarse a los estudiantes, a pesar de que cada día se tiene más en cuenta en las aplicaciones tecnológicas. Por tanto: $\Delta I_{ntercambiada} = Q + W + R$ y como $\Delta U = \Delta I_{ntercambiada}$ tenemos que: $\Delta E(C) + \Delta E(I) + \Delta E(P) = Q + W + R$. Si se puede despreciar la componente de radiación estamos ante la primera ley de la termodinámica que observa los procesos tratados en mecánica para el nivel de enseñanza que estamos analizando.

Cuando el sistema es una partícula, como los casos estudiados en esta unidad didáctica, por ejemplo al analizar el movimiento de un objeto-partícula que cae al suelo desde una altura h, se puede prescindir de la energía E(I), ya que suponemos que no hay interacciones internas del sistema y de la energía E(P) y que no hay cambios en la estructura interna del cuerpo durante la caída antes de tocar el suelo. Asimismo, podemos despreciar de Q y R, con lo que resulta que $\Delta E(C) = W$, es decir, $\Delta E_c = W$, que es la expresión **(1)** considerada al principio. Además, si en el ejemplo despreciamos el rozamiento del aire, la única fuerza que actúa sobre el sistema es conservativa (la fuerza de la gravedad) y se cumple que $\Delta E_c = -\Delta E_p$ que es la expresión **(2)** considerada al principio. Para finalizar,

quiero resaltar la adecuación de las actividades propuestas a los estudiantes a objetivos procedimentales, como emisión de hipótesis (por ejemplo, A.4, A.38...), elaboración de estrategias de resolución (por ejemplo, A.6, A.36...), análisis de variables (por ejemplo, A.17...) o planteamiento y resolución de auténticos problemas (por ejemplo, A.46, A.47 ..). Asimismo, se proponen actividades de autoevaluación, como A.26 o A.44, a lo largo del tema que permiten a los estudiantes una continua retroalimentación con lo que van aprendiendo.

Si podemos desarrollar unidades didácticas como la comentada que sean aceptadas y utilizadas por el profesorado y el alumnado con los objetivos diseñados, en lugar del discurso transmisivo habitual, estaremos en condiciones de convertir la clase de ciencias en un lugar de comunicación de la cultura científica, es decir, un lugar donde los estudiantes aprendan de forma significativa los procedimientos propios de la metodología científica, sus objetivos y relaciones con la sociedad y los conceptos científicos y leyes analizados.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 10

ALONSO, M. y FINN, E. J. (1997). Energy as a unifying concept in the introductory physics course. En E. F. Redish y J. S. Rigden (Eds.), *The Changing role of physics departments in modern universities*. American Institute of Physisc, 519-530.

FURIÓ, C. y GUISASOLA, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82(4), 511-526.

HECHT, E. (2003). An Historical-critical account of potential energy: Is PE really real?, *The physics Teacher*, 41(8), 486-493.

Otras Voces

¿Qué problemas plantean la obtención y el consumo de recursos energéticos?

Reflexiones y propuestas de ***Josefina Barandiarán*** *en torno al capítulo 11*

Analizar y comentar este capítulo me exige hacer referencia al objetivo del libro en su conjunto. Según sus autores, este libro se concibe para abordar el problema de la falta de interés por los estudios científicos que muestra buena parte del alumnado de secundaria en los países desarrollados. Partiendo de la idea de que la educación tecnocientífica es un objetivo social prioritario en la actualidad, en el libro se sientan las bases de cómo debe concebirse la educación científica de modo que se consiga interesar al alumnado en los estudios científicos y, simultáneamente, se contribuya a formar ciudadanos y ciudadanas que puedan participar en la toma de decisiones sobre temas sociales de carácter tecnocientífico de manera fundamentada.

Los autores hacen propuestas de mejora de la educación científica en el bachillerato mediante dos ámbitos de actuación. Uno de ellos consiste en la presentación y desarrollo de un nuevo modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés. El otro tiene que ver con la atención a problemas que, junto con otros, configuran el estado actual del mundo, que algunos califican de emergencia planetaria.

Considero muy oportuna la selección de ejemplos que ilustran todo lo anterior y que constituyen la tercera parte del libro y, de manera especial, la inclusión de los dos capítulos relacionados con la energía. No sólo se justifica su interés por el hecho de tratarse de uno de los conceptos científicos con más potencialidad explicativa, sino que ofrece la posibilidad de abordar algunos de los problemas más determinantes del actual estado de cosas: los que están asociados a la obtención y uso de la energía (escasez de los recursos energéticos, contaminación ambiental y sus consecuencias, problemas de la producción, transporte y almacenamiento de los residuos radiactivos, desastres ecológicos que se pueden originar por los impropiamente llamados “accidentes” en la extracción y transporte de los recursos energéticos, etc.).

Este capítulo dedicado a las fuentes de energía es una muestra muy acertada de cómo integrar esos dos campos de actuación a los que antes he hecho referencia. En efecto, a través de las actividades que en él se plantean se involucra al alumnado en un proceso de investigación en torno a problemas de sobrado interés que, además, ponen de manifiesto las dimensiones sociales del desarrollo tecnocientífico. En este sentido, puede afirmarse que es una forma de abordar los contenidos CTSA –ciencia, tecnología, sociedad y ambiente– en el currículo de ciencias.

Creo que merece la pena destacar algunas de las aportaciones más significativas de este capítulo, refiriéndolas a tres aspectos de la estrategia que en él se plantea, acorde con el modelo de aprendizaje como investigación orientada que se propone.

Uno de ellos tiene que ver con el conocimiento que el alumnado debe tener de la situación actual del mundo. Me parece un enfoque muy acertado el empeño en que los estudiantes construyan una visión dinámica del estado del planeta, una situación en evolución, que comprendan que las cosas no han sido siempre como lo son ahora y, lo que creo que es más importante, que conciban que el futuro no está predeterminado. Esta rápida mirada hacia el pasado reciente, conectada con la situación actual, sienta las bases didácticas para que el alumnado pueda aceptar que se planteen alternativas encaminadas a preservar el planeta para las generaciones venideras.

Otro aspecto a señalar es el análisis de los problemas relacionados con la obtención y consumo de energía, que permite comprender de qué manera la utilización de las fuentes de energía contribuye a caracterizar la situación crítica del planeta. Merece la pena destacar el énfasis de los autores en resaltar que esos problemas están conectados con otros que, en su conjunto, configuran el actual orden de cosas. De esta manera, no sólo se favorece que el alumnado construya una visión más ajustada de la situación, sino que se prepara el terreno para el posterior tratamiento de las posibles alternativas de futuro, que necesariamente han de abordar de forma global tanto el diagnóstico de la situación de partida como las medidas a tomar.

En ese análisis de los problemas asociados a las fuentes de energía es de destacar la acertada conexión que se establece entre conceptos científicos convencionales y otros necesarios para comprender la situación actual del planeta y las alternativas para una evolución sostenible de la misma. Me estoy refiriendo, por ejemplo, a la relación entre una de las propiedades de la energía que habitualmente se estudian, como es su degradación y disipación en los procesos de transformación, con la idea de eficiencia energética; o bien, el principio de conservación de la energía en un sistema cerrado con la necesidad de ahorrar energía, consumir menos e incluso la conveniencia de "producir más" energía útil.

El tercer aspecto que quiero resaltar tiene que ver con el hecho de pedir a los estudiantes que reflexionen sobre las medidas que deben tomarse, en lo que a la energía se refiere, para construir un futuro sostenible. Esto permite, además de analizar la viabilidad de propuestas concretas, incluir el futuro como una dimensión del currículo, dejando de ser parte del currículo oculto, para hablar explícitamente de él (Vilches y Gil-Pérez, 2003). Hablar de futuro en el aula supone plantear al alumnado qué futuro puede garantizar la vida de generaciones futuras, cuáles han de ser las medidas que han de tomarse. Merece la pena hacer mención del énfasis que se pone en que el alumnado:

- tome conciencia de que las soluciones a los problemas actuales y, por tanto, las medidas que deben ponerse en marcha para poner fin a esos problemas y a las causas que los producen, no son sólo de índole científico-técnica, sino que requieren la voluntad política de los gobernantes y tienen también dimensiones económicas, sociales y éticas;

- pueda cuestionar afirmaciones habituales en ciertos medios, tales como que no hay alternativa a los combustibles fósiles o que no hay otras posibilidades distintas de la que ofrece la energía nuclear, entre otras, analizando nuevas formas de aprovechamiento de las fuentes renovables de la energía, como la solar y otras que han sido utilizadas por la humanidad desde hace muchos siglos, especialmente la eólica y la hidráulica;
- entienda que las medidas –a corto, medio y largo plazo– que deben tomarse han de estar necesariamente interconectadas.

Como no podía ser de otra forma al abordar este tipo de cuestiones, se presenta el modelo de desarrollo sostenible para señalar hacia dónde se deben orientar las actuaciones si queremos garantizar la supervivencia de las generaciones futuras. Es en relación con esto último que estimo oportuno señalar, más que un problema, algo que debería tenerse en cuenta en el diseño de actividades que se proponen al alumnado. Me estoy refiriendo al hecho de que la idea de "desarrollo sostenible" aparezca en diferentes momentos en el programa de actividades sin que se haya abordado explícitamente el significado del término que, por otra parte, al alumnado le resulta novedoso, al menos en el ámbito escolar. Se trata de un concepto complejo, con una contribución fuerte de dimensiones económicas probablemente desconocidas por los estudiantes, y que quizás convendría analizar mínimamente, aunque sólo sea para conseguir una primera aproximación a la idea misma de desarrollo. Quizás esto apunta a la necesidad de integrar conocimientos procedentes de otras disciplinas, como la economía, por ejemplo.

Por otra parte, no debe perderse de vista que la controversia que existe –y señalan los autores en otro capítulo del libro– en torno a los significados que pueden dársele al término –y, de hecho, se le dan– precisa también una clarificación de partida. Comparto la opinión que expresan los autores en otro capítulo cuando señalan que, al margen de interpretaciones y controversias, está la idea básica de sostenibilidad. Ahora bien, el uso que se está haciendo del término "desarrollo sostenible" por parte de potentes empresas eléctricas, industrias químicas, etc., a través de los medios de comunicación a los que accede fácilmente la población –no sólo prensa, sino también radio y televisión– requiere salir al paso de interpretaciones que intenten conciliar la exigencia de sostenibilidad del futuro con el mantenimiento del modelo de desarrollo actual, sin cuestionarlo ni hacer propuestas alternativas. En este sentido, me parecen adecuados algunos análisis (Luffiego y Rabadán, 2000) que facilitan, en primer lugar, la clarificación que necesitamos los profesores y profesoras de ciencias en relación con este tema, para propiciar, a continuación, un tratamiento adecuado en el aula con el alumnado.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 11

LUFFIEGO, M. y RABADÁN, J. M. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 473-486.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia.* Madrid: Cambridge University Press.

Otras Voces

Tierra y cielos: ¿Dos universos separados?

Reflexiones y propuestas de ***Antonio Moreno*** *en torno al capítulo 12*

La historia de la ciencia es un buen muestrario sobre cómo la aceptación de las teorías científicas es un proceso lento y dificultoso, proceso en el que no sólo hay que salvar los obstáculos relativos a la comprensión de las novedades conceptuales y metodológicas, hay que superar también barreras sociales, ideológicas y confesionales mucho más imperativas y condenatorias que las científicas.

La historia de la gravitación universal es ejemplar en cuanto a su riqueza como proceso y como acontecimiento social. Desde que los primeros observadores de los cielos fueron atraídos por las regularidades celestes y desde que se empezaron a asociar aquellas danzas armónicas de estrellas, planetas y satélites con la vida cotidiana, tanto en el comportamiento natural de animales y plantas como en la pretendida influencia astral en el destino de los individuos, desde entonces, no se ha dejado de prestar atención al universo.

Influidos por las convicciones religiosas de que todo ha de girar en torno a algo o a alguien más principal que el resto, se buscaba un centro que para unos fue la Tierra, y para otros, los menos, el Sol, el astro rey, la divinidad hecha fuego. La superación de la creencia en la Tierra como centro del universo está jalonada de una lucha titánica en la que algunos perecieron, otros fueron condenados por heréticos y muchos relegados al olvido. Fue una lucha de siglos, hubo que esperar a que las libertades destapadas por el Renacimiento, movimiento cultural y social que abre las puertas al mundo moderno, permitieran levantar la voz contra la tiranía del poder mal ejercido y expresar el pensamiento tal como se derivaba de la observación de la naturaleza. Copérnico, Kepler, Galileo y, finalmente, Newton, por citar los más sobresalientes, fueron los impulsores de la instauración de la visión científica de la naturaleza por encima de los condicionantes teológicos que secularmente venían dominando. Entonces empieza una nueva forma de indagar, de investigar puede decirse ya, una filosofía natural diferente a la establecida por los griegos, basada en el conocimiento de los hechos, la experimentación y la matematización de los resultados. Este cambio paulatino en las formas de mirar, de concebir, de expresar, de estudiar, de medir, constituyó lo que algunos historiadores, entre los que sobresale Thomas Kuhn, dieron en llamar una *revolución científica*, denominación que, de ser mantenida, ha

de entenderse en todo caso como un proceso de asimilación que desemboca finalmente en la ruptura con lo precedente (Fuller, 2000). No obstante estas precauciones conceptuales, la imposición definitiva del sistema heliocéntrico sobre el geocéntrico, junto con la trama teórica que generó, se puede considerar como la revolución que menos dudosamente puede ser calificada como tal, porque cumple el requisito esencial en el planteamiento kuhniano: la inconmensurabilidad de los paradigmas, es decir que no pueden ser comparados porque proceden de esquemas conceptuales distintos. Y en este caso poco tienen que ver entre sí el paradigma aristotélico defenestrado con el newtoniano, por resumir en una palabra final y culminante las contribuciones de quienes fundamentaron el heliocentrismo.

Desplazada, por Copérnico, la Tierra de su posición hegemónica; desarticulados, por las leyes de Kepler, los mitos de la circularidad y del movimiento uniforme tenidos como propios de la perfección de los cielos; mostradas, por Galileo, las manchas solares y los cráteres en la Luna, manifestación de que la materia celeste era al menos tan corrupta como la terrestre, la diferenciación casi moral entre los cielos y la tierra –aquellos puros e incorruptibles; ésta, imperfecta y alterable– era insostenible. Fue la Ley de la Gravitación Universal, síntesis de saberes ya establecidos y otros aportados por Newton, la que matemática y definitivamente establece que no hay dos mundos, ni son necesarias dos físicas para entender los fenómenos celestes, por un lado, y los terrestres, por otro. Un solo mundo, un universo único y una sola física son los puntos de partida de la ciencia moderna iniciada en el siglo XVII.

El asunto crucial a solventar era asociar el movimiento elíptico con fuerzas inversamente proporcionales al cuadrado de las distancias. Este carácter central de las fuerzas gravitatorias era intuido por muchos, pero le cupo a Newton la gloria de proponerlo con el rigor científico y predictivo que a partir de entonces se empezaba a exigir a las propuestas científicas. Newton en sus *Principia* (1687), aplicó con éxito sus proposiciones a resolver el "problema de la Luna", es decir por qué la Luna "gravita hacia la Tierra y es continuamente desviada del movimiento rectilíneo", es decir por qué la Luna está en "caída libre" permanente pero se mantiene en su órbita con una evidente periodicidad (Galindo et al., 1998).

En la historia de la gravitación universal, como en cualquier historia, se encuentran relatos desigualmente fidedignos. Elegir qué historia es la más veraz es un asunto que sólo puede resolverse yendo a las fuentes originarias, lo que no siempre es posible ni está al alcance de todos. En este aspecto, también la gravitación universal es ejemplar, como puede verse en los libros de texto, en los propios libros de historia de la ciencia y en los tratados sobre filosofía de la ciencia. Aparte la variedad de formas en que se cuenta "lo que hizo Newton", es común a casi todas las publicaciones atribuir a Henry Cavendish la medida de G, la constante de la gravitación universal. Atribución falsa, porque Cavendish, en la publicación aparecida en 1798, lo que pretendió fue contribuir a la solución del problema geológico en boga en su tiempo: determinar la densidad media de la Tierra. Algunos ya la habían calculado, pero Cavendish lo hizo, y aquí radica la diferencia con los demás, a partir de la atracción gravitatoria entre cuerpos esféricos suspendidos en una balanza de torsión (Moreno, 2000 y 2001).

Las leyes y el estilo newtonianos, sustento del mecanicismo con que se ha venido interpretando la naturaleza durante más de dos siglos, entraron en crisis a finales del siglo XIX. La acosaron los planteamientos energetistas, alineados con la naciente termodinámica como una ciencia al margen de la física de Newton, acoso que pronto acabó en reconciliación; la teoría cuántica, que puso en entredicho el determinismo reinante en la

física desde el siglo XVII; y la relatividad einsteiniana con sus nuevos planteamientos sobre las concepciones básicas de espacio y de tiempo. Los cambios que afectan significativamente al orden denominado clásico, los impactantes cambios cuánticos y relativistas, son propios de la naturaleza en el terreno de las altas energías, y sólo han supuesto, por tanto, una acotación del ámbito en que lo newtoniano prevalece, que para honra de quienes protagonizaron aquella revolución primigenia, sigue siendo la inmensa mayoría de la física del mundo a nuestro alcance.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 12

FULLER, S. (2000). *Thomas Kuhn, A Philosophical History for Our Times*, Chicago: The University of Chicago Press.

GALINDO, A., MORENO, A., BENEDÍ, A. y VARELA, P. (1998). *Física.* 2º Bachillerato LOGSE. Tema 4, Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España.

MORENO, A. (2000). "Pesar" la Tierra: test newtoniano y origen de un anacronismo. *Enseñanza de las Ciencias*, **18**(2), 319-332.

MORENO, A. (2001). "Weighing" the Earth: a Newtonian Test and the Origin of an Anachronism, *Science and Education*, **10**(6), 515-543. Ampliación de Moreno, 2000.

Otras Voces

¿Cómo explicar la gran diversidad de materiales y sus transformaciones?

*Reflexiones y propuestas de **Mercè Izquierdo** en torno al capítulo 13*

Un poco más de lo mismo…

Lo más interesante al aprender ciencias es aprender a construir y utilizar "modelos teóricos" es decir, a hacer uso de la capacidad de imaginar situaciones que van más allá de lo que se ve para poder explicar los fenómenos. Llamamos a esta manera de pensar "pensamiento teórico" y su interés radica en que permite ir "atando cabos" de manera que un único modelo permita explicar a la vez muchos fenómenos aparentemente muy diferentes.

La característica más notable de esta manera de pensar es "ver" simultáneamente el modelo y el fenómeno, ya que ninguno de los dos, por separado, tiene interés científico.

Uno de estos Modelos es el que ahora tratamos: el modelo corpuscular de la materia, que empieza por el "modelo-gas" y va desarrollándose a medida que permite explicar los fenómenos químicos, termodinámicos y la naturaleza eléctrica de la materia.

Podemos profundizar ahora en tres aspectos del modelo que se ha ido presentando en este capítulo:

1. ¡Los gases son muy raros!
2. Sin los gases no podríamos escribir ecuaciones químicas…
3. El comportamiento de la atmósfera plantea nuevas cuestiones.

1. ¡LOS GASES SON MUY RAROS!

A.1. "Los gases son muy raros". Justifiquen esta afirmación mostrando las aparentes contradicciones entre afirmaciones como las siguientes: sus partículas se mueven solas sin gastar energía, los gases ocupan todo el recipiente a pesar de estar formados por partículas discretas, las partículas tienen tamaños despreciables pero pesan, todos se comportan igual pero son sustancias diferentes.

Comentarios A.1. Con esta pregunta se trata de animar a los alumnos a argumentar la pertinencia del modelo y a justificar la relación entre el modelo y lo que se quiere explicar con él. Para que esto funcione, es necesario admitir puntos de partida que deberían sorprender pero que, si se aceptan, son extraordinariamente fructíferos; sin embargo, es necesario contemplar a la vez el modelo y el fenómeno: un recipiente está siempre "lleno de gas" aunque digamos que en él hay "vacío" (es decir, aunque la presión en su interior sea muy pequeña) e imaginemos partículas discretas en su interior.

El movimiento intrínseco de las partículas es uno de estos puntos de partida que va a acompañar siempre más a cualquier modelo, introduciendo el concepto de "azar" y ayudando a avanzar a través de los vericuetos de la termodinámica. Esta idea se introduce de una manera convincente a partir de los gases, ya que sólo así se explica que "hagan presión hacia arriba", que llenen siempre todo el recipiente y que se repartan de manera homogénea.

Aprender a pensar en términos de un modelo requiere disciplina mental: no se pueden infringir las reglas del juego que impone el modelo teórico. Por esto, puede resultar interesante plantear situaciones inesperadas para asegurar que los alumnos no se desconciertan y se mantienen en el marco del modelo. La cuestión siguiente, derivada de la A-7, puede dar lugar a una reflexión de este tipo:

A.2. Un frasco con éter vaporizado pesa lo mismo que un frasco con la misma cantidad de éter líquido. Pero... ¿y si, al hacer la experiencia, pesara menos?

Comentarios A.2. Si pesa menos es que se han escapado partículas. Se ha de tener en cuenta que además de éter hay aire y que el vapor de éter puede haber desplazado partículas de aire, si el frasco no estaba bien tapado. Al evaporarse el éter aumenta la presión, y esto puede haber ocasionado fugas.

2. SIN LOS GASES NO PODRÍAMOS ESCRIBIR ECUACIONES QUÍMICAS...

Tal como ya se ha comentado, el modelo corpuscular-gas explica el comportamiento físico de los gases (y, por extrapolación, el de los materiales sólidos y líquidos), pero también aporta ideas para explicar el comportamiento químico de los materiales. Hay un aspecto que se encuentra entre ambos enfoques (el físico y el químico) y que podría solucionarse ahora: se trata de poder determinar la "unidad" material, física, que interviene en la reacción química.

Sin las maravillosas regularidades que presentan los gases hubiera sido imposible llegar a conocer las fórmulas con las cuales escribimos ecuaciones químicas. Por esto, vale la pena empezar a pensar que, aunque todos los gases son iguales desde un punto

de vista corpuscular, también presentan importantes diferencias; y precisamente este contraste entre el modelo y la realidad es el que permite avanzar y continuar desarrollando el modelo.

A.3. "El autocar de partículas": ¿se puede utilizar esta analogía para comparar la masa de las partículas de gases diferentes?

Comentarios A.3. Los alumnos han llegado a la conclusión de que ***V = f (N, t, P)*** o, mejor aún, de que V = f (N, T, P). Los alumnos saben también que gases diferentes tiene diferentes densidades (como ocurre con todos los materiales, ya que la densidad es una de sus propiedades características). Por lo tanto, la masa de un determinado V de gases diferentes es diferente porque será proporcional a la densidad. Relacionando estas dos "reglas del juego" se puede relacionar la masa del gas con N y llegar a la conclusión de que la masa de las partículas de gases diferentes será diferente.

Es muy importante conocer la masa de las partículas para poder conocer su fórmula, pero es muy difícil hacerlo. Sin los gases, seguramente hubiera sido imposible. Por esto, es muy importante comprender cómo puede hacerse este cálculo.

El volumen de los gases (si sabemos P y T) indica cuántas partículas tenemos, sea cual sea el gas. Podemos ponernos de acuerdo y determinar cuál es el volumen que corresponde a N=1 (fijando también la temperatura y la presión, y calculando el valor de la constante de proporcionalidad) y, a partir de ello, averiguar las masas diferentes que, para cada gas, corresponden también a N=1; de esta manera estamos comparando las masa de sus partículas. (N=1 será, a partir de ahora, 1 mol y el número real de partículas será proporcional a éste, e igual para todos los gases).

Podemos utilizar la analogía del autocar para comprender cómo se pueden "contar partículas" a partir del volumen. Supongamos que un autocar transporta 60 viajeros. Si ha hecho 2 viajes transportando turistas, ha transportado 120 turistas; si ha hecho dos viajes transportando niños de una escuela, ha transportado 120 niños. Una vez ya tenemos contadas las partículas, podemos comparar las masas: si pudiéramos pesar a los turistas de un autocar y a los niños del otro, ¿qué resultado creéis que obtendríamos?

A. 4. ¿Se puede conocer la masa molar del gas de un encendedor?

Comentarios A.4. Esta experiencia puede realizarse fácilmente siempre que se tomen las precauciones necesarias.

Se ha de empezar apretando la palanca de salida del gas sin producir la chispa que daría lugar a la llama: 'se oye' como sale el gas y se huele, pero no se puede ver; esta situación ya puede dar lugar a comentarios interesantes, que permitan darse cuenta de que el gas del encendedor es diferente del aire.

A continuación se pesa el mechero y se anota la masa. Se anota también la presión y temperatura en el laboratorio. El paso siguiente es algo más difícil, pero también sugerente: como el gas del mechero no es soluble en agua, puede recogerse sobre ella. Para ello se sumerge el mechero en un recipiente con agua en el cual se mantiene en pie un tubo graduado (una probeta) también lleno de agua, se coloca el mechero en la boca del tubo y se acciona la palanca de salida del gas de manera que éste vaya llenando el tubo, a medida que desplaza el agua que contenía.

A continuación se seca el mechero y se pesa de nuevo, y se anota el volumen de gas en la probeta. La diferencia entre la masa inicial y la final es la masa del gas en la probeta. Se puede suponer que la presión del gas en la probeta es la misma que en el laboratorio.

Los cálculos se pueden realizar a partir de la ley general de los gases que los alumnos ya conocen. A partir del volumen de gas recogido encuentran n y dividiendo la masa del gas por n se encuentra la masa molecular del gas; como no sabemos si se trata de una sola sustancia o de una mezcla (que, al ser gases las sustancias, será homogénea), la masa molar que calculemos será una 'masa molar media'.

A.5. ¿Se parecen, las disoluciones y los gases? ¿Podemos explicar su comportamiento con el "modelo gas"?

Comentarios A.5. Volvemos con ello a la sorprendente constatación del "movimiento intrínseco de las partículas" que es una de las "reglas" del modelo corpuscular. Es necesario que los alumnos relacionen el comportamiento del gas con el del soluto en una disolución diluida, puesto que ello ayuda a comprender por qué se disuelven muchas substancias (el factor de azar), la homogeneidad de las disoluciones y la posibilidad de calcular las masas molares de los solutos a partir de las propiedades generales de las disoluciones que se derivan de este "modelo de disolución".

3. EL COMPORTAMIENTO DE LA ATMÓSFERA PLANTEA NUEVAS CUESTIONES

"Hay menos presión en lo alto de una montaña que en el valle". He aquí una afirmación experimental, fácil de comprender y, en general, convincente, pero que plantea también problemas. De hecho, al referirnos a la presión atmosférica estamos empezando a situarnos en el marco de un modelo algo diferente: el gas ya no se encuentra encerrado en un recipiente y, por consiguiente, ya no se expande todo lo que éste le permite, sino que queda retenido por la gravedad, que no actúa exactamente igual sobre todo él. La diferente presión en lo alto de la montaña ya no se relaciona con las variables que se han utilizado hasta ahora (que continúan teniendo su función, por supuesto, porque no se pueden cambiar las "reglas del juego"), sino que tiene que ver con el grosor de la capa de aire que hay por encima.

Puede compararse, por lo tanto, con lo que ocurre en el interior de un líquido, aunque éste no hace "presión hacia arriba", como continúan haciendo los gases en el "mar de aire". Esta reflexión puede desarrollarse en la experiencia siguiente:

A.6. ¿Por qué asciende un globo lleno de gas caliente?

Comentarios A.6. La diferencia de densidad entre el aire caliente y el aire frío no es suficiente para que el globo pueda elevarse. Es necesario tener en cuenta que en la base del globo éste experimenta más presión que en lo alto, y esta diferencia contribuye a elevarlo.

Se puede realizar una experiencia para demostrar esta diferencia de presiones comparando el "mar de aire" con un "mar líquido". Preparamos el siguiente dispositivo: un embudo cubierto con una película elástica (obtenida recortando un globo de los que se utilizan en las fiestas infantiles) y conectado mediante un tubo de goma

suficientemente largo a un tubo en U medio lleno con un líquido coloreado. Inicialmente el líquido coloreado se encuentra al mismo nivel en ambos brazos de la U, pero al introducir el embudo en un recipiente grande lleno de agua, el líquido coloreado asciende por uno de los brazos de la U, mostrando que la presión en el fondo del recipiente es mayor que la atmosférica debido al "peso" (presión) del agua.

Lo mismo ocurre en la atmósfera, pero debido, ahora, a la presión del "mar de aire" que depende de la profundidad a la cual se mida.

A.7. ¿Por qué disminuye la presión atmosférica cuando va a llover?

Comentarios A.7. Es complicado hacer funcionar a la vez las reglas del juego del "gas encerrado en un recipiente" y del "mar de aire". Uno de los escollos es que en los gases encerrados su comportamiento depende el número de partículas, pero en el 'mar de aire' también depende del peso de estas partículas. No "pesan" lo mismo las moléculas de nitrógeno y de oxígeno que las de agua, que son mucho más ligeras. Una atmósfera húmeda no ejerce la misma presión que una atmósfera seca, por más que un mol de agua gas y un mol de oxígeno, ocupando igual volumen a la misma temperatura, ejerzan la misma presión sobre el recipiente.

Cuando se piensa en términos de "mar de aire" necesitamos pensar en el modelo "Planeta Tierra", que gira llevando "pegada", debido a la gravedad, una masa de gas que "pesa" y ejerce presión sobre "el fondo", es decir, sobre todos nosotros.

Otras Voces

¿Qué desafíos tiene planteados hoy la humanidad? Educación para el desarrollo sostenible

Reflexiones y propuestas de ***Eduardo González*** *en torno al capítulo 14*

Antes que nada quiero resaltar la importancia de este programa de actividades por haber incluido una sección dedicada a los "problemas del mundo" y a la discusión de los posibles caminos de resolución. Ésta es una manera concreta de asumir los desafíos de la alfabetización científica en el contexto de un "malestar" o desinterés que embarga a los jóvenes (y también a los adultos) ante un mundo donde se estrechan las oportunidades y se levantan los muros del odio y la violencia cada vez con mayor intensidad. Precisamente, la inclusión de estos temas en la formación docente y en la enseñanza de las ciencias es un motor que puede facilitar un cambio de actitud y un compromiso de la comunidad educativa.

Pero el planteamiento de este texto va más allá; no se trata simplemente de incorporar "fines externos" para generar interés por el aprendizaje de las ciencias; el tratamiento de los problemas del mundo es "interno", es propio y es pertinente al programa de alfabetización científica. Destacamos varias razones para sostener esta afirmación: a) la actividad científica –o tecnocientífica– ha contribuido, en manos de un poder social deshumanizado, a generar la contaminación y degradación ambiental actual, b) la misma actividad científica ha señalado, analizado y precisado estos peligros y está contribuyendo a dar respuestas tecnológicas a los problemas de la sustentabilidad, c) estos desarrollos aproximan la actividad científica a nuevas visiones epistémicas, holísticas e interdisciplinares del objeto de su trabajo, es decir que tienden a la superación de la fragmentación disciplinar, d) la alfabetización científica ha sido concebida en el contexto de esas preocupaciones, como una intención de contribuir a visiones críticas y democráticas, asumiendo que no puede haber educación válida que oculte esta realidad. No se trata entonces de "politizar" la enseñanza, sino de educar en relación a uno de los problemas que ocupa hoy mayor atención entre científicos y tecnólogos, de las *zonas oscuras* del mundo, que a veces son eludidas en el campo político y económico, pero que contaminan la idea de futuro de cualquier proyecto que merezca llamarse humano.

Finalmente, deseamos destacar la importancia de los aspectos planteados al proceso educativo: la degradación en la vida del planeta, causas del actual proceso de degradación... y nuevos problemas, ¿qué hacer para avanzar hacia una sociedad sostenible?, desarrollo sostenible y derechos humanos, recapitulación y perspectivas. En cada uno de ellos se presentan actividades abiertas que propician la polémica, lo axiológico y el compromiso, al mismo tiempo que no pierden de vista la perspectiva del conocimiento tecnocientífico.

Sobre la base de estos acuerdos sustanciales, expongo a continuación algunos comentarios críticos o aportaciones al texto.

En la actividad A.10 se plantea la discusión acerca del crecimiento demográfico, sin duda una de las cuestiones de mayor importancia entre los problemas del mundo actual. Un crecimiento desmedido no sólo agrava los problemas concretos de cada país, sino que genera una carrera insensata hacia la degradación global. Pero ello debe ser pensado en los términos de los desequilibrios existentes, uno de los cuales se refiere precisamente a los diferentes ritmos de crecimiento poblacional. En ese sentido, deberíamos considerar también la posibilidad de que la baja tasa de crecimiento pueda ser un problema en países poco poblados; sin duda, las cosas se plantean de modo muy diferente en China o la India, que en Bolivia, por ejemplo, país donde los bajos niveles poblacionales son considerados como un problema para el desarrollo económico. En la Argentina se decía hace un siglo que "gobernar es poblar", aludiendo a los grandes espacios abiertos, despoblados y no incorporados al proceso productivo en la pampa o la Patagonia; hoy, sin duda, las cosas son muy diferentes y, a pesar de que su densidad poblacional es baja comparada con muchos otros países, parece haber hallado una población aceptable que le permite, en una integración regional, insertarse en una economía de escala. Se trataría entonces de hacer un esfuerzo por contemplar la mayor diversidad de situaciones en cuanto a la densidad poblacional de los países y de señalar algunos caminos de solución que van allá de los marcos del Estado nación.

En la actividad A.13, donde se plantean las diferentes medidas que cabría tomar para poner fin a los problemas considerados en el capítulo, se me ocurre necesario plantear la cuestión con mayor amplitud: por un lado, creo que antes de hablar de "medidas" se deberían considerar los órdenes o dimensiones en los que se debería tratar el problema (tecnológico, político, jurídico-legal, ideológico-filosófico, educativo, comunicacionales, modos de vida, etc.); por el otro, no creo que se trate exactamente de medidas, sino de cambios profundos en la vida y la cultura (como se ha mencionado en trabajos que se citan y como se insinúa en el mismo texto); finalmente, no pueden dejar de mencionarse las grandes dificultades y resistencias de todo tipo que habrán de enfrentarse para llevar a cabo estos proyectos o medidas, lo que nos coloca ante la gravedad total de la sobrevivencia de la humanidad y a cómo abordarla, dentro y fuera de la escuela. Es muy posible que todo esto ya haya sido dicho en otros capítulos; lo mío es simplemente para destacar que al hablar de "medidas" parece reducirse el problema. Sabemos que, desgraciadamente, el problema es más complejo y ello debe ser expuesto con total honestidad y valentía a los lectores.

En la A.16 se propone recuperar los "comportamientos individuales" necesarios para resolver los problemas de la contaminación, a los que adhiero, porque debemos ser concientes que, aunque las contribuciones individuales son como granitos de arena, "hay montañas de arena" (Atahualpa Yupanqui). Pero valdría la pena recalcar, al mismo tiempo, el valor de la acción colectiva. Por ejemplo, para citar un ejemplo reciente, creo que la

decisión de retirar las tropas españolas de la guerra en Irak no habría sido posible sin las grandes manifestaciones, donde millones de españolas y españoles (y extranjeros que viven en España) dijeron con toda su vitalidad un "no a la guerra". Esas manifestaciones recorrieron todo el planeta a través de los medios de comunicación y fueron un ejemplo para el mundo. Seguramente podremos dar una buena cantidad de estos ejemplos. Individual y colectivamente, aparecerán entonces como dos aspectos inseparables.

Creo que valdría la pena dar un lugar a la discusión sobre la *democratización planetaria*; algo que, de otro modo, podría no ser mencionado o quedaría disminuido al nivel de una retórica huera. La humanidad dispone hoy de los medios para sostener una vida digna de todos los habitantes del planeta. Lo que sucede es que no hemos progresado en la conciencia de la totalidad de los problemas planetarios, en los derechos sociales y políticos y en el respeto a nuestros semejantes (y al planeta y sus diversidades), como en el campo tecnológico y científico. La nueva *sociedad-red*, donde el conocimiento es el insumo básico del desarrollo, no puede sustentarse en desigualdades inicuas o en la prepotencia imperial lisa y llana. La democratización del planeta es un gran objetivo que debe ser planteado con toda energía, una y otra vez, especialmente en el plano educativo, pero también en las discusiones científicas o en las plataformas políticas. Ha llegado la hora de enfrentar la globalidad desde una perspectiva integral. Pero también debemos recuperar instrumentos de mediación en marcha hacia esa conciencia planetaria y a la deseada democratización. Es el papel que pueden cumplir las organizaciones regionales, como la UE o MERCOSUR, el Pacto Andino y otras asociaciones transnacionales. Por otro lado, deberían mencionarse las polémicas que generan otras instituciones, como el FMI o el BM, creadas con fines de bien común, para servir al desarrollo de los pueblos, pero que han perdido el rumbo, como bien denuncia el premio Nobel de Economía Joseph Stiglitz. Si estas discusiones nos llevaran a una sensación de "utopía" deberíamos aceptar ese reto, imponiendo entonces las condiciones de "utopías de solidaridad y respeto al bien común", valores a los que debe adherir la educación científica. Más alejado de la realidad es creer que el actual sistema de desigualdades, consagrado e impulsado por el estado de hechos en el campo internacional, pueda ofrecer alguna perspectiva mínima de felicidad y justicia para la humanidad.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 14

STIGLITZ, J. E. (2002). *El malestar de la globalización*. Madrid: Taurus.

QUINTA PARTE

PERSPECTIVAS

Esta quinta parte ha sido concebida, como su título indica, como apertura de perspectivas, es decir, como instrumento para favorecer la continuación del trabajo de los lectores y lectoras en torno a los problemas de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Para ello hemos incluido, en primer lugar, las *expresiones clave* correspondientes al estudio y tratamiento de los problemas que plantea la educación científica (capítulos 1 al 9), remitiéndonos también al capítulo 14 en lo que se refiere a las cuestiones de educación para la sostenibilidad. Para cada una de dichas expresiones se indica, entre comillas, los capítulos donde aparecen, resaltando con negrita aquellos capítulos donde se trata con más detenimiento. De este modo se facilita la ubicación de las cuestiones que pueden interesar al lector en un momento dado.

En segundo lugar ofrecemos el listado de los autores que han participado en la confección del libro, con indicación de su lugar de trabajo y su dirección electrónica. Queremos hacer posible de este modo los intercambios para la profundización en las cuestiones abordadas.

Por último, incluimos el listado de las fuentes bibliográficas manejadas, indicando entre comillas los capítulos en los que cada referencia aparece. Ello permite detectar las referencias clave para los distintos aspectos tratados en el cuerpo central del libro (capítulos 1 al 14).

Esperamos de este modo convertir el libro en un mejor instrumento de trabajo y favorecer, en suma, la apertura de nuevas perspectivas.

De acuerdo con ello, esta quinta parte consta de los siguientes documentos:

Expresiones clave.

Direcciones de contacto de los autores.

Referencias bibliográficas.

Perspectivas

Expresiones clave en el conjunto del libro

Notas para facilitar su manejo:

- Se han incorporado las expresiones clave correspondientes al estudio y tratamiento de los problemas que plantea la educación científica (capítulos 1 al 9), remitiéndonos también al capítulo 14 en lo que se refiere a las cuestiones de educación para la sostenibilidad.
- El enunciado de dichas expresiones clave se ha realizado atendiendo a su significatividad, sin pretender transcribir literalmente frases incluidas en el libro.
- Para cada una de ellas se indica, entre comillas, los capítulos donde aparecen, resaltando con negrita aquellos capítulos donde se trata con más detenimiento.
- Algunas expresiones remiten a otras de las aparecidas en el listado, por tratarse de formulaciones alternativas de una misma idea.
- Señalemos por último que, además de esta relación de expresiones clave, el CD que acompaña al texto impreso permite ubicar con rapidez y precisión los contenidos del libro.

A

Actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje: *Ver "interés hacia la ciencia y su aprendizaje"*
actividad científica: *Todos los capítulos. Ver en particular* **[2]**
alfabetización científica y tecnológica: **[1]**, [2], [3], [7]
alumnos como "investigadores noveles": **[2]**, [6], [8], [9]
análisis cualitativos de situaciones problemáticas: **[2]**, [4], [5], [6], [7], [8], [9]
análisis de resultados: [2], [4], [5], [6], [7], [8], [9]
aprendizaje como cambio conceptual: **[6]**
aprendizaje como construcción de conocimientos: *Ver "aprendizaje como investigación*"
aprendizaje como investigación orientada: *Todos los capítulos. Ver en particular* **[2]** y **[6]**
aprendizaje conceptual: [2], [3], [4], [5], **[6]**
aprendizaje por "descubrimiento": [2], **[4]**
aprendizaje por recepción: **[2]**, [6]
aprendizaje significativo: [2], [5], [6], [9]
aspectos axiológicos: [2], [3]
autorregulación: **[8]**

C

Calificación: *Ver "evaluación como instrumento de constatación y discriminación"*
cambio axiológico: [6]
cambio conceptual: **[6]**
cambio metodológico: [6]
carácter social de la ciencia: *Todos los capítulos. Ver en particular* **[2]**
carácter tentativo de la ciencia: **[2]**, [4], [5], [6], [9]
características de la actividad científica: **[2]**, [4], [5], [6], [9]
ciencia como parte de la cultura: **[1]**, [7]
ciencia para todos: **[1]**, [3]
cine: *Ver "educación científica no formal"*
clima de aula y de centro: **[3]**
compromisos para el funcionamiento de la clase: **[3]**
comunicación del trabajo realizado: *Todos los capítulos. Ver en particular* **[7]**
concepciones alternativas: **[6]**
concepciones de los estudiantes sobre la ciencia: [2], [3]
concepciones del mundo: [7]
concepciones docentes espontáneas: **[2]**, [4], [5], **[8]**
concepciones empiro-inductivistas: **[2]**, [4], [5]
concepciones epistemológicas: **[2]**
conflictos cognitivos: [2], [4], **[6]**, [8]
confluencia entre aprendizaje y evaluación: **[8]**, [9]
conocimientos precientíficos: **[6]**
construcción de conocimientos científicos: *Todos los capítulos. Ver en particular* **[6]**
constructivismo: *Ver "orientaciones constructivistas de aprendizaje"*
controversias científicas: [2], [3], **[7]**
cooperación y debates entre equipos: [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]
crisis y remodelaciones científicas: **[2]**, **[7]**
cuaderno de trabajo ("portafolio") como instrumento de evaluación: **[8]**
cuestionamiento de dogmas: [7]
cultura científica: **[1]**, [2], [3]

D

Debates científicos y éticos: [2], [3], **[7]**
derechos humanos: [7] (*Ver también* **[14]**)
dimensión afectiva: **[3]**, [7]
dimensión colectiva del trabajo científico: **[2]**, [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]
dimensión CTSA: *Ver "relaciones CTSA"*
dimensión tecnológica: *Ver "papel de la tecnología en el desarrollo científico"*
diseño y realización de montajes experimentales: [2], **[4]**, [6], [8], [9]

E

Educación científica no formal: [3], [4], **[7]**, [8]
educación científica y tecnológica: [2]
educación ciudadana: **[1]**, **[7]**
educación no reglada: *Ver "educación científica no formal"*
educación para la sostenibilidad: [3] (*Ver también* **[14]**)
elaboración de productos por los estudiantes: [2], [4], [5], [6], [8], [9]
emergencia planetaria: [1], [7] (*Ver también* **[14]**)
emisión de hipótesis: [2], [4], [5], [6], [8], [9]
enseñanza como investigación e innovación: [2], [3], [9]
enseñanza por transmisión: [2], [6], [9]
epistemología científica: **[2]**, [6], [9]
epistemología del sentido común: **[2]**, **[6]**
errores conceptuales: [2], [5], **[6]**, [8]
escuelas eficaces: **[3]**
esquemas conceptuales alternativos: **[6]**
estrategias constructivistas de aprendizaje: *Ver "orientaciones constructivistas"*
estrategias de resolución de problemas: [2], [4], **[5]**, [6], [8], [9]
estructura problematizada de un curso y de cada tema: **[9]**
estudiantes como "investigadores noveles": *Ver "alumnos como investigadores noveles"*
estudio cualitativo de las situaciones problemáticas: **[2]**, **[3]**, [4], [5], [6], [8], [9]
evaluación como constatación y discriminación: **[8]**, [9]
evaluación como instrumento de aprendizaje: [3], **[8]**
evaluación como instrumento de constatación y discriminación: [3], **[8]**
evaluación como instrumento de mejora de la enseñanza: [8]
evaluación como instrumento de regulación: *Ver"evaluación como instrumento de aprendizaje"*
evaluación continua: [3], **[8]**
evaluación de la enseñanza: [8]
evaluación de riesgos: [1], [7] (*Ver también* **[14]**)
evaluación del aprendizaje: **[8]**
evaluación del currículo: [8]
evaluación formativa: *Ver "evaluación como instrumento de aprendizaje"*
exámenes como forma de evaluación, pros y contras: **[8]**
expectativas de profesores y alumnos: **[3]**, **[8]**
experiencias sencillas motivadoras: [3], **[4]**
exposiciones científicas: *Ver "educación científica no formal"*

F

Falta de base de los estudiantes: **[8]**
familiarización con el trabajo científico: *Todos los capítulos*
finalidades de la enseñanza de las ciencias: **[1]**, **[3]**
formulación de preguntas de interés: [2], **[3]**, [4], [5], [6], [7], [8], [9]
fracaso en la resolución de problemas: **[5]**
fracaso escolar: [1], [2], [5], **[8]**
funciones de la evaluación: **[8]**
fusión de teoría, prácticas y problemas: *Ver "integración de teoría, prácticas y problemas"*

H

Hilo conductor de un tema o un curso: **[9]**
historia de la ciencia: *Todos los capítulos*
hundimiento de teorías: **[2]**, **[7]**

I

Ideas espontáneas: *Ver "preconcepciones de los alumnos"*
ideas previas: *Ver "preconcepciones de los alumnos"*
imagen "naif", "folk" o ingenua de la ciencia: *Ver "visiones deformadas de la ciencia"*
implicación de los estudiantes: **[3]**, [6], [8]
inicio de curso e inicio de un tema: **[3]**
inmersión en una cultura científica y tecnológica: **[1]**, [2], [3], [9]
innovación curricular: *Ver "investigación e innovación didáctica"*
integración de "teoría", prácticas y problemas: [6], [9]
integración de campos de conocimiento: **[2]**, [6], **[7]**, [8]
intercambios entre equipos: *Ver "cooperación y debates entre equipos*"
interés de las situaciones propuestas: [2], [3], [4], [5], [6], [8], [9]
interés hacia la ciencia y su aprendizaje: *Todos los capítulos. Ver en particular* **[1]** y **[3]**
intereses de los estudiantes: **[3]**
interregulación de equipos: [8]
invención de conceptos: [2], [6], [9]
invención de hipótesis: *Ver "emisión de hipótesis"*
investigación científica: *Ver "actividad científica"*
investigación e innovación didáctica: *Todos los capítulos*
investigadores noveles: *Ver "alumnos como investigadores noveles"*

L

Libertad de investigación y de pensamiento: **[1]**, [2], **[7]**

M

Mapas conceptuales: [2], [6], [7], [8]
medios de comunicación: *Ver "educación científica no formal*"
memoria del trabajo realizado: [2], [4], [5], [6], [7], [8], [9]

"Método Científico": **[2]**
metodología científica: *Ver "actividad científica"*
minusvaloración de la tecnología: **[2]**
modelo de aprendizaje como investigación: *Ver "aprendizaje como investigación orientada"*
modelo de aprendizaje por recepción: *Ver "aprendizaje por recepción"*
modelos constructivistas de aprendizaje: *Ver "orientaciones constructivistas"*
momentos cumbre en la historia del pensamiento científico: **[7]**
motivación: *Ver "interés hacia la ciencia y su aprendizaje"*
movimiento CTS: [1] *(Ver también relaciones CTSA)*
museos: *Ver "educación científica no formal"*

N

Naturaleza de la ciencia: *Todos los capítulos. Ver en particular* **[2]**
naturaleza de la tecnología: **[2]**

O

Obstáculos epistemológicos: **[2]**, [6]
operativismo: **[2]**, **[5]**
orientaciones constructivistas: [2], **[6]**

P

Papel de la tecnología en el desarrollo científico: **[2]**, [4], [7]
papel social de la ciencia y la tecnología: **[1]** (*Ver también relaciones CTSA*)
participación ciudadana en la toma de decisiones: *Ver "toma de decisiones"*
participación de los alumnos en el aula: [2], **[3]**, [6], [9]
participación de los alumnos en la regulación del aprendizaje: *Ver "autorregulación"*
pensamiento divergente: **[2]**, [4], [5], [6]
pensamiento precientífico: [6]
perspectivas abiertas: [2], [4], [5], [6], **[7]**, [8], [9]
planteamientos cualitativos: *Ver "análisis cualitativos"*
prácticas como "recetas": **[4]**
preconcepciones de los alumnos: **[6]**, [9]
preconcepciones docentes: *Ver "concepciones docentes espontáneas"*
prensa: *Ver "educación científica no formal"*
preparación de futuros científicos: [1], [3]
principio de precaución: [1], [7] (*Ver también* **[14]**)
problemas abiertos: *Ver "situaciones problemáticas abiertas"*
problemas estructurantes: **[9]**
problemas globales del planeta: [7] (*Ver también* **[14]**)
problemas medioambientales: [1], [2], [7] (*Ver también* **[14]**)
procesos de unificación: *Ver "integración de campos de conocimientos"*
profesores como "investigadores expertos": [2], [3], [6], [9]
programa de actividades: [2], [9]
proyecto de centro: [3]

R

Recapitulaciones: [2], [4], [5], [6], **[7]**, [8], [9]
reduccionismo conceptual: [1], [6], [7], [8], [9]
regulación del trabajo realizado: **[7]**, **[8]**, [9]
relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA): *Todos los capítulos. Ver en particular* **[2]**, **[3]**, **[7]**
relaciones profesor-alumnos: **[3]**, [8]
remodelación del cuerpo de conocimientos: **[2]**, **[7]**
repercusiones de los desarrollos tecnocientíficos: *Ver "relaciones CTSA"*
resolución de problemas de lápiz y papel como investigación: **[5]**
responsabilidad de los científicos y tecnólogos: **[2]**
revoluciones científicas: **[2]**, **[7]**

S

Secuencia de actividades: **[9]**
secuenciación de contenidos: [9]
síntesis: [2], [4], [5], [6], **[7]**, [8], [9]
situaciones problemáticas abiertas: **[2]**, [3], [4], [5], [6], [8], [9]

T

Tecnologías de la información y la comunicación (TIC): [7], [8] *(Ver en particular la introducción a la segunda parte)*
televisión: *Ver "educación científica no formal"*
toma de decisiones: **[1]**, [2], [3], [5], [6], **[7]**, [9]
trabajo en equipo: **[2]**, [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]
trabajos prácticos como investigaciones: **[4]**

V

Verbalización: [2], [5], [6], [8]
visiones deformadas de la ciencia y de la tecnología: *Todos los capítulos. Ver en particular* **[2]**

Perspectivas

Direcciones de contacto de los autores

Editores

GIL PÉREZ, Daniel. *Universitat de València. España*
daniel.gil@uv.es

MACEDO, Beatriz. *OREALC/UNESCO Santiago. Chile*
bmacedo@unesco.cl

MARTÍNEZ TORREGROSA, Joaquín. *Universidad de Alicante. España*
joaquín.martinez@ua.es

SIFREDO, Carlos. *Ministerio de Educación. Cuba*
sifredo@rimed.cu

VALDÉS, Pablo. *Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Cuba*
pablo@ff.oc.uh.cu

VILCHES, Amparo. *Universitat de València. España*
amparo.vilches@uv.es

Autora de la presentación

MACEDO, Beatriz. *OREALC/UNESCO Santiago. Chile*
bmacedo@unesco.cl

Autores de la primera parte

GIL PÉREZ, Daniel. *Universitat de València. España*
daniel.gil@uv.es

FERNÁNDEZ, Isabel. *Universitat de València. España*
isabel.fernandez-montoro@uv.es

MARTÍNEZ Torregrosa, Joaquín. *Universidad de Alicante. España*
joaquín.martinez@ua.es

SIFREDO, Carlos. *Ministerio de Educación. Cuba*
sifredo@rimed.cu

VALDÉS, Pablo. *Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Cuba*
pablo@ff.oc.uh.cu

VILCHES, Amparo. *Universitat de València. España*
amparo.vilches@uv.es

Autores de la segunda parte

CARRASCOSA, Jaime. *Universitat de València. España*
jcalis@wanadoo.es

FURIÓ, Carles. *Universitat de València. España*
carles.furio@uv.es

GIL PÉREZ, Daniel. *Universitat de València. España*
daniel.gil@uv.es

MARTÍNEZ TORREGROSA, Joaquín. *Universidad de Alicante. España*
joaquín.martinez@ua.es

PAYÁ, José. *Universitat de València. España*
anavaya@terra.es

SIFREDO, Carlos. *Ministerio de Educación. Cuba*
sifredo@rimed.cu

VALDÉS, Pablo. *Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Cuba*
pablo@ff.oc.uh.cu

VILCHES, Amparo. *Universitat de València. España*
amparo.vilches@uv.es

Autores de la Tercera parte

CARRASCOSA, Jaime. *Universitat de València. España*
jcalis@wanadoo.es

DOMÉNECH, Josep Lluís. *Universitat de València. España*
jlldb@hotmail.com

FURIÓ, Carles. *Universitat de València. España*
carles.furio@uv.es

GIL PÉREZ, Daniel. *Universitat de València. España*
daniel.gil@uv.es

MARTÍNEZ TORREGROSA, Joaquín. *Universidad de Alicante. España*
joaquín.martinez@ua.es

SIFREDO, Carlos. *Ministerio de Educación. Cuba*
sifredo@rimed.cu

SOLBES, Jordi. *Universitat de València. España*
jordi.solbes@uv.es

VALDÉS, Pablo. *Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Cuba*
pablo@ff.oc.uh.cu

VERDÚ, Rafaela. *Universidad de Alicante. España*
rvercar@yahoo.es

VILCHES, Amparo. *Universitat de València. España*
amparo.vilches@uv.es

Autores de la cuarta parte ("Otras Voces")

AMADOR, Rafael Yecid. *Universidad Pedagógica Nacional. Colombia*
rafael_amador@pedagogica.edu.co

BARANDIARÁN, *Josefina. IES nº 5 de Avilés. España*
barni@telecable.es

CAÑAL, Pedro. *Universidad de Sevilla. España*
pcanal@us.es

GALLEGO, Rómulo. *Universidad Pedagógica Nacional. Colombia*
rgallego@uni.pedagogica.edu.co

GARRITZ, Andoni. *Universidad Autónoma de México. México*
andoni@servidor.unam.mx

GAVIDIA, Valentín. *Universitat de València. España*
valentin.gavidia@uv.es

GONZÁLEZ, Eduardo. *Universidad Nacional de Córdoba. Argentina*
egonza@mail.famaf.unc.edu.ar

GUISASOLA, Jenaro. *Universidad del País Vasco. España*
wupguarj@sp.ehu.es

IZQUIERDO, Mercè. *Universitat Autònoma de Barcelona. España*
merce.izquierdo@uab.es

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, Mª Pilar. *Universidade de Santiago. España*
ddmaleix@usc.es

KATZKOWICZ, Raquel. *OREALC/UNESCO Santiago. Chile*
arielej@movinet.com.uy

MAIZTEGUI, Alberto. *Academia Nacional de Ciencias. Argentina*
maiztegui@acad.uncor.edu

MORENO, Antonio. *Universidad Complutense, Madrid. España*
antoniom@edu.ucm.es

NERY, Luz. *Universidad Pedagógica Nacional. Colombia*
rgallego@uni.pedagogica.edu.co

PERALES, Francico Javier. *Universidad de Granada*
fperales@platon.ugr.es

PÉREZ MIRANDA, Roymán. *Universidad Pedagógica Nacional. Colombia*
royman@uni.pedagogica.edu.co

PESSOA DE CARVALHO, Anna Maria. *Universidade de São Paulo. Brasil*
ampdcarv@usp.br

PRAIA, João. *Universidade de Porto. Portugal*
jfpraia@fc.up.pt

SÁNCHEZ, Armando. *SEP, México*
asmartin@sep.gob.mx

SANMARTÍ, Neus. *Universitat Autònoma de Barcelona. España*
neus.Sanmarti@uab.es

URIBE, María Victoria. *Universidad Pedagógica Nacional. Colombia*
mariav.uribe@unisabana.edu.co

Perspectivas

Referencias bibliográficas incluídas en el libro

Nota:

Se indica entre corchetes el o los capítulos en los que cada referencia aparece. Designamos por **P** *la presentación del libro y por* **I.2** *la introducción de la segunda parte, que incluyen también referencias.*

ABRAMOVITZ, J. N. (1998). La conservación de los bosques del planeta. En Brown L. R., Flavin, C., French, H. et al., *La situación del mundo, 1998*. Barcelona: Icaria. [14]

ABRAMS, E. y WANDERSEE, J. H. (1995). How to infuse actual scientific research practices into science classroom instruction. *International Journal of Science Education*, 17(6), 683-694. [2]

ACEVEDO, J. A. (1996). La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44. [2]

AIKENHEAD, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 69(4), 453-475. [1], [3], [14]

ALONSO, M. y FINN, E. J. (1967). *Fundamental University Physics, Volume 1: Mechanics*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley. [10]

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1992a). Concepciones espontáneas de los profesores de ciencias sobre la evaluación. Obstáculos a superar y propuestas de replanteamiento, *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 18-38. [8]

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1992b). Los exámenes en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 127-138. [8]

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1995). Actividades de evaluación coherentes con una propuesta de enseñanza de la Física y la Química como investigación: actividades de autorregulación e interregulación. *Revista de Enseñanza de la Física*, 8(2), 5-20. [8]

ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1996). Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza constructivista de las ciencias, *Investigación en la Escuela*, 30, 15-26. [8]

ALLARD, M. (1999). Le partenariat école-musée: quelques pistes de réflexion. *Aster*, 29, 27-40. [7]

ANDERSON, B. (1999). Evaluating students' knowledge understanding and viewpoints concerning "The State of the World in the spirit of developmental validity". University of Goteborg. Sweden.

En *Research in Science Education. Past, Present and Future*. Vol. 1. Second International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A). August 31-September 4. Kiel, Germany: IPN. [14]

ARONS, A. B. (1988). Historical and philosophical perspectives attainable in introductory physics courses. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 13- 23. [9]

ASE (1979). *Alternatives for Science Education.* Hartfield: ASE. [3]

ATKIN, J. M. y HELMS, J. (1993). Getting serious about priorities in science education. *Studies in Science Education*, 21, 1-20. [1]

AUSUBEL, D. P. (1968). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas. Existe una nueva versión en la que han colaborado Novak y Hanesian: AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. y HANESIAN, H. (1978). *Educational psychology a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston. [2], [3]

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. y HANESIAN, H. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas. [4], [6]

BACHELARD, G. (1938). *La Formation de L´esprit scientifique.* Paris: Vrin. [2], [3], [6]

BAIRD, J. R. (1986). Improving learning trough enhanced metacognition: A classroom study. *European Journal of Science Education*, 8(3), 263-282. [8]

BAKER, D. R. (1998). Equity Issues in Science Education. En Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (Eds.), *International Handbook of Science Education.* London: Kluwer Academic Publishers. [1]

BANCO MUNDIAL (2000). *En el umbral del siglo XXI. Informe sobre el desarrollo mundial, 1999-2000.* Madrid: Mundi Prensa. [14]

BARBERÁ, O. y VALDÉS, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379. [4]

BELL, B. (1998). Teacher development in Science Education. En Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (Eds.), *International Handbook of Science Education.* London: Kluwer Academic Publishers. [P]

BELL, B. F. y PEARSON, J. (1992). Better Learning. *International Journal of Science Education*, 14(3), 349-361. [2]

BENARROCH, A. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 123-134. [13]

BERNAL, J. D. (1967). *Historia Social de la Ciencia*. Barcelona: Península. [2]

BLACK, P. (1998). Assessment by teachers and the improvement of students' learning. En Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (Eds.), *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers. [8]

BRISCOE, C. (1991). The dynamic interactions among beliefs, role metaphors and teaching practices. A case study of teacher change, *Science Education*, 75(2), 185-199. [P], [8]

BROWN, L. R. (1993). El inicio de una nueva era. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo 1993*. Barcelona: Ed. Apóstrofe. [14]

BROWN, L. R. (1998). El futuro del crecimiento. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo 1998*. Barcelona: Ed. Icaria. [14]

BROWN, L. R., FLAVIN, C. y FRENCH, H. (Eds.) (1984-2004). *The State of the World*. New York: W. W. Norton. [14]

BROWN, L. R. y MITCHELL, J. (1998). La construcción de una nueva economía. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo 1998*, Barcelona: Ed. Icaria. [14]

BULLEJOS, J. (1983). Análisis de actividades en textos de Física y Química de 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 147-157. [5]

BUNGE, M. (1976). *Filosofía de la Física*. Barcelona: Ariel. [2]

BUNGE, M. (1976). *La Investigación Científica*. Barcelona: Ariel. [4]

BUNGE, M. (1980). *Epistemología*. Barcelona: Ariel. [2]

BUNGE, M. (1997). *Ciencia, Técnica y Desarrollo.* Buenos Aires: Juárez Ed. [2]

BUTTON, J. y FRIENDS OF THE EARTH (1990). *¡Háztelo Verde!* Barcelona: Integral. [14]

BYBEE, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153. [1], [11], [14]

BYBEE, R. (1997). Towards an Understanding of Scientific Literacy. En Graeber, W. y Bolte, C. (Eds.), *Scientific Literacy.* Kiel: IPN. [1]

BYBEE, R. (2000). Achieving Technological Literacy: A National Imperative. *The Technology Teacher*, September 2000, 23-28. [2], [12]

BYBEE, R. y DeBOER, G. E. (1994). Research on goals for the science curriculum. En Gabel, D. L., *Handbook of Research en Science Teaching and Learning*. New York: McMillan P.C. [1]

CAAMAÑO, A. (Coord.) (1995). La educación Ciencia-Tecnología-Sociedad. Monografía. *Alambique*, 3. 4-72. [3]

CAJAS, F. (1999). Public Understanding of Science: Using technology to Enhance School Science in Everyday Life. *International Journal of Science Education*, 21(7), 765-773. [2]

CAJAS, F. (2001). Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 243-254. [2]

CALATAYUD, M. L., GIL-PÉREZ, D. y GIMENO, J. V. (1992). Cuestionando el pensamiento docente espontáneo del profesorado universitario: ¿las deficiencias de la enseñanza secundaria como origen de las dificultades de los estudiantes? *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 14, 71-81. [8]

CALVO ROY, A. y FERNÁNDEZ BAYO, I. (2002). *Misión Verde: ¡Salva tu planeta!* Madrid: Ediciones SM. [11]

CARAMAZZA, A., McCLOSKEY, M. y GREEN, B. (1981). Naive beliefs in "sophisticated" subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognitions*, 9, 117-123. [6]

CARRASCOSA, J. (1987). Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales. Tesis doctoral. Valencia: Servei de Publicacions de la Universitat de Valencia. [6]

CARSON, R. (1980). *Primavera silenciosa.* Barcelona: Grijalbo. [1], [7], [14]

CHALMERS, A. F. (1990). *Science and its fabrication.* Minneapolis, MP: University of Minnesota Press.

CLEMINSON, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching,* 27(5), 429- 445. [2]

COLOMBO DE CUDMANI, L., PESA DE DANON, M. y SALINAS DE SANDOVAL, J. (1986). La realimentación en la evaluación de un curso de laboratorio de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 122-128. [8]

COMÍN, P. y FONT, B. (1999). *Consumo sostenible. Preguntas con respuesta.* Barcelona: Icaria. [11], [14]

COMISIÓM MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988). *Nuestro futuro común.* Madrid: Alianza. [1], [11], [14]

CORTINA, A. et al. (1998). *Educar en la justicia*. Valencia: Generalitat Valenciana. [14]

COUNCIL OF THE MINISTERS OF EDUCATION OF THE EUROPEAN COMMUNITY (1988). *Resolution on Environmental Education, Official Journal of the European Communities*, (C177/8). [14]

CRONIN-JONES, L. L. (1991). Science teaching beliefs and their influence on curriculum implementation: two case studies, *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 235-250. [8]

DALY, H. (1997). Criterios operativos para el desarrollo sostenible. En Daly, H. y Schutze, C., *Crisis ecológica y sociedad*. Valencia: Ed. Germania. [14]

DE SELYS, G. (1998). La escuela, gran mercado del siglo XXI, *Le Monde diplomatique*, edición española, número de junio, 28-29. [I.2]

DE VRIES, M. (1996). Technology Education: Beyond the "Technology is Applied Science" Paradigm (Guest Article). *Journal of Technology Education*, 8(1), 7-15. [2]

DeBOER, G. E. (2000). Scientific literacy: another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching,* 37(6), 582-601. [1]

DECLARACIÓN DE BUDAPEST (1999). *Marco general de acción de la Declaración de Budapes*t, http://www.oei.org.co/cts/budapest.dec.htm. [P], [1]

DELÉAGUE, J. P. y HÉMERY, D. (1998). Energía y crecimiento demográfico. En Le Monde diplomatique, edición española, *Pensamiento crítico versus pensamiento único*. Madrid: Ed. Debate. [14]

DELORS, J. (Coord.) (1996). *La educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la Educación para el siglo XX*I. Madrid: Santillana. Ediciones UNESCO. [P], [14]

DÉSAUTELS, J. y LAROCHELLE, M. (1998). The epistemology of students: The "thingified" nature of scientific knowledge. En Fraser B. y Tobin K. (Eds.) *International Handbook of Science Education,* London: Kluwer Academic Publishers. [2]

DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B. y RUEL, F. (1993). La formation a l'enseignement des sciences: le virage épistémologique*. Didaskalia*, 1, 49-67. [2]

DOMÉNECH, J. L., GIL-PÉREZ, D., GRAS, A., GUISASOLA, J., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., SALINAS, J., TRUMPER, R. y VALDÉS, P. (2003). La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(4), 285-311. [10]

DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-15. [6]

DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120. [6]

DRIVER, R. y EASLEY, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 10, 37-70. [6]

DRIVER, R. y OLDHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122. [2]

DRIVER, R. y WARRINGTON, L. (1985). Students use of the principle of energy conservation in problem situation. *Physics Education*, 20, 171-176. [10]

DUIT, R. (1986). In search of an energy concept. En *Energy matters*. Leeds: University of Leeds. [10]

DUIT, R. (2004). Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education (STCSE), INP Kiel, disponible en: www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html. [6]

DUMAS CARRÉ, A., GIL-PÉREZ, D. y GOFFARD, M. (1990). Les élèves peuvent-ils résoudre des problèmes? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 728, 1289-1299. [5]

DURNING, A. T. (1994). *Cuánto es bastante: la sociedad de consumo y el futuro de la Tierra.* Barcelona: Apóstrofe. [11]

DUSCHL, R. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 3-14. [8]

EDWARDS, M. (2003). La atención a la situación del mundo en la educación científica. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [14]

EDWARDS, M., GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., PRAIA, J., VALDÉS, P., VITAL, M. L., CAÑAL, P., DEL CARMEN, L., RUEDA, C. y TRICÁRICO, H. (2001). Una propuesta para la transformación de las percepciones docentes acerca de la situación del mundo. Primeros resultados. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales,* 15, 37-67. [1]

EHRLICH, P. R. y EHRLICH, A. H. (1994). La explosión demográfica. *El principal problema ecológico*. Barcelona: Salvat. [14]

ENGEL, E. y DRIVER, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), 473-496. [6]

ESTANY, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Editorial Crítica. [2]

FENSHAM, P. J. (2002a). Time to change Drivers for Scientific Literacy. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education,* 2(1), 9-24. [1]

FENSHAM, P. J. (2002b). De nouveaux guides pour l'alphabétisation scientifique. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education,* 2(2), 133-149. [1]

FERNÁNDEZ BAYO, I. y CALVO ROY, A. (2001). *¡Enchúfate a la energía!* Madrid: Ediciones SM. [11]

FERNÁNDEZ, I. (2000). Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: Una propuesta de transformación. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [2]

FERNÁNDEZ, I., GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, J. y PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488. [2]

FEYERABEND, P. (1975). *Against Method.* Londres: Verso. (Existe traducción al castellano en Madrid: Siglo XXI). [2]

FIEN, J. (1995). Teacher for sustainable world: The environmental and Development Education Project for Teacher Education. *Environmental Education Research*, 1(1), 21-33. [14]

FLAVIN, C. y DUNN, S. (1999). Reinvención del sistema energético. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo 1999*. Barcelona: Icaria. [14]

FOLCH, R. (1998). *Ambiente, emoción y ética. Actitudes ante la cultura de la sostenibilidad.* Barcelona: Ariel. [11], [14]

FORTÍN-DEBART, C. (1999). Analyse de l'offre des institutions muséals en médiation environnementale. *Aster*, 29, 85-100. [7]

FOUREZ, G. (1997). *Alfabetización científica y tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Colihue. [1]

FRASER, B. J. (1994). Research on classroom and school climate. En Gabel, D. L. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* New York: McMillan Pub Co. [P], [3], [8]

FRASER, B. y TOBIN, K. G. (Eds.) (1998). *International Handbook of Science Education.* London: Kluwer Academic Publishers. [P], [2]

FREDETTE, N. y LOCHHEAD, J. (1981). Students conceptions of electric current. *The Physics Teacher*, 18, 194-198. [6]

FURIÓ, C., GAVIDIA, V., GIL-PÉREZ, D. y RODES, M. J. (1995). *Materiales Didácticos. Ciencias de la Naturaleza. Primer Ciclo Secundaria Obligatoria.* Madrid: MEC. [13]

FURIÓ, C. y HERNÁNDEZ, J. (1983). Ideas sobre los gases en alumnos a los 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (2), 83-91. [13]

FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, H. (1987). Parallels between adolescents conception of gases and the history of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(7), 617-618. [13]

FURIÓ, C. y VILCHES, A. (1997). Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad. En del Carmen, L. (Coord.), *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria.* 47-71. Barcelona: Horsori. [P], [1]

GABEL, D. L. (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* New York: McMillan Pub Co. [P], [2], [3]

GARCÍA, E. (1999). *El trampolín Fáustico: ciencia, mito y poder en el desarrollo sostenible.* València: Ediciones Tilde. [14]

GARCÍA RODEJA, I. (1999). El sistema Tierra y el efecto invernadero, *Alambique*, 20, 75-84. [14]

GARDNER, P. L. (1994). Representations of the relationship between Science and Technology in the curriculum. *Studies in Science Education*, 24, 1-28. [2], [4]

GARRETT, R. M. (1987). Issues in Science Education: problem-solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9(2), 125-137. [5]

GARRETT, R. M., SATTERLY, D., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1990). Turning exercises into problems. An experimental study with teachers in training. *International Journal of Science Education*, 12(1), 1-12. [5]

GASKELL, P. J. (1992). Authentic science and school science. *International Journal of Science Education,* 14(3), 265-272. [2]

GELI, A. (1995). La evaluación de los trabajos prácticos. *Alambique*, 4, 25-32. [8]

GENÉ, A. (1986). Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada. Tesis doctoral. Barcelona: Biblioteca de la Facultat de Biología de la Universitat de Barcelona. [6]

GIDDENS, D. (2000). *Un mundo desbocado*. Madrid: Taurus. [14]

GIERE, R. N. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press. [2]

GIL-PÉREZ, D. (1981). *Evolución de la idea de materia. (Un hilo conductor para el estudio de la física)*. Valencia: ICE Universitat de Valencia. [7], [12]

GIL-PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33. [2], [4], [6]

GIL-PÉREZ, D. (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69-77. [8]

GIL-PÉREZ, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212. [2], [6], [7]

GIL-PÉREZ, D. (1998). El papel de la educación ante las transformaciones científico-tecnológicas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 69-90. [14]

GIL-PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236. [6]

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., DUMAS CARRÉ, A., FURIÓ, C., GALLEGO, N., GENÉ, A., GONZÁLEZ, E., GUISASOLA, J., MARTINEZ, J., PESSOA, A., SALINAS, J., TRICÁRICO, H. y VALDÉS, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512. [2]

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J. FURIÓ, C. y MARTINEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria.* ICE/Universidad de Barcelona. Barcelona: Horsori. [P], [2], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]

GIL-PÉREZ, D., DUMAS CARRÉ, A., CAILLOT, M. y MARTINEZ TORREGROSA, J. (1990). Paper and pencil problem solving in the physical sciences as an activity of research. *Studies in Science Education*, 18, 137-151. [5]

GIL-PÉREZ, D., FERNÁNDEZ, I., VILCHES, A., CACHAPUZ, A., PRAIA, J., VALDÉS, P. y SALINAS, J. (2004). Questioning and Overcoming Distorted Views of Science: An Essential Requisite for The Renewal of Science Education. En W. F. McComas, (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies,* Netherlands, Kluwer Academic Publishers. (Segunda edición, pendiente de publicación). [2]

GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C. y CARRASCOSA J. (1996). *Curso de formación para profesores de ciencias. Unidad I.1. La energía: la invención de un concepto fructífero*. Madrid: MEC. [11]

GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ, J., GUISOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias,* 17(2), 311-320. [6], [9]

GIL-PÉREZ, D., GAVIDIA, V., VILCHES, A. y EDWARDS, M. (1999). Visiones de los profesores de ciencias sobre las problemáticas a las que la comunidad científica y la sociedad deberían prestar una atención prioritaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 13, 81-97. [14]

GIL-PÉREZ, D., GUISASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA, A., MARTÍNEZ, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS, A., TRICÁRICO, H. y GALLEGO, R. (2002). Defending constructivism in science education. *Science & Education*, 11, 557-571. [6]

GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology, *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455. [5]

GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1984). Problems-Solving in Physics: a critical analysis. En *Research on Physics Education*. Paris: Editions du CNRS. [5]

GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física*. Madrid: Ediciones del MEC. [5]

GIL-PÉREZ, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., RAMÍREZ, L., DUMAS CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A. M. (1992). La didáctica de la resolución de problemas en cuestión: elaboración de un modelo alternativo. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 6, 73-85. [5]

GIL-PÉREZ, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., RAMÍREZ, L., DUMAS CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A. M. (1993). Vamos a atravesar una calle de circulación rápida y vemos venir un coche: ¿pasamos o nos esperamos?, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 7, 71-80. [5]

GIL-PÉREZ, D., NAVARRO, J. y GONZÁLEZ, E. (1993). Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado (II). Una experiencia de transformación de las prácticas del ciclo básico universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 7(1), 33-47. [4]

GIL-PÉREZ, D. y SOLBES, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-260. [7]

GIL-PÉREZ, D. y VALDÉS, P. (1995). Un ejemplo de práctica de laboratorio como actividad investigadora. *Alambique*, 6, 93-102. [I.2]

GIL-PÉREZ, D. y VALDÉS, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163. [4]

GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación. *Investigación en la Escuela*, 43, 27-37. [1]

GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2004). La formación del profesorado de ciencias de secundaria... *y de universidad*. La necesaria superación de algunos mitos bloqueadores. *Educación Química* (en prensa). (P), [1]

GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., ASTABURUAGA, R. y EDWARDS, M. (2000). La atención a la situación del mundo en la educación de los futuros ciudadanos y ciudadanas, *Investigación en la Escuela*, 39-56. [14]

GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., EDWARDS, M., PRAIA, J., MARQUES, L. y OLIVEIRA, T. (2003). A proposal to enrich teachers' perception of the state of the world. First results. *Environmental Education Research*, 9(1), 67-90. [1], [3], [7], [14]

GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A. y GONZÁLEZ, M. (2002). Otro mundo es posible: de la emergencia planetaria a la sociedad sostenible. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 16, 57-81. [7]

GILBERT, J. K. (1992). The interface between science education and technology education. *International Journal of Science Education*. 14(5), 563-578. [2]

GILBERT, J. K. (1995). Educación tecnológica: una nueva asignatura en todo el mundo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 15-24. [2]

GILBERT, J. K., OSBORNE, R. J. y FENSHMAN, P. J. (1982). Children's Science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633. [6]

GIORDAN, A. (1978). Observation-Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils? *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73. Traducción española en *Infancia y Aprendizaje*, 1978, número 13. [2], [4]

GIORDAN, A. (1985). Interés didáctico de los errores de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), 11-17. [6]

GIORDAN, A. (1997). ¿Las ciencias y las técnicas en la cultura de los años 2000? *Kikirikí*, nº 44-45, 33-34. [1]

GIRARDET, H. (2001). *Creando ciudades sostenibles.* Valencia: Tilde. [11]

GIRAULT, Y. (1999). L'école et ses partenaires scientifiques. *Aster*, 29, 3-8. [7]

GONZÁLEZ, E. (1992). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 206-211. [4]

GONZÁLEZ, E. (1994). Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de física. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [4]

GONZÁLEZ DE LA BARRERA, L. (2003). Las Prácticas de Laboratorio de Química en la Enseñanza Universitaria. Análisis crítico y Propuesta de Mejora basada en la Enseñanza-Aprendizaje por Investigación Orientada. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València. [4]

GONZÁLEZ, E. y De ALBA, A. (1994). Hacia unas bases teóricas de la Educación Ambiental. *Enseñanza de las Ciencias,* 12(1), 66-71. [14]

GONZÁLEZ, M., GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2002). Los museos de Ciencias como instrumentos de reflexión sobre los problemas del planeta. *TEA. Tecne, Episteme y Didaxis*, 12, 98-112. [7]

GORDMIMER, N. (1999). Hacia una sociedad con valor añadido. *El País,* domingo 21 de febrero, páginas 15-16. [14]

GORE, A. (1992). *La Tierra en juego. Ecología y conciencia humana*. Barcelona: Ed. Emecé. [14]

GOULD, S. J. (1982). *La falsa medida del hombre.* Barcelona: Bosch. [8]

GRAU, R. (1994). ¿Qué es lo que hace difícil una investigación?, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 27-35. [4]

GUILBERT, L. y MELOCHE, D. (1993). L'idée de science chez des enseignants en formation: un lieu entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions? *Didaskalia*, 2, 7-30. [2]

GUISASOLA, J., BARRAGUÉS, J., VALDÉS, P., VALDÉS, R. y PEDROSO, F. (1999). La resolución de problemas en el laboratorio y la utilización del ordenador, *Revista Española de Física*, 13(3), 62-65. [4]

HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, M. A.: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM; Instituto de Investigaciones Filosóficas, México D.F.: UNAM/Paidós. [2], [4]

HANSON, N. R. (1958). *Patterns of Discovery. An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge, M. A.: Cambridge University Press. Traducción de E. García Camarero (1977): *Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*. Madrid: Alianza. [2], [4]

HASHWEH, M. Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249. [6]

HEMPEL, C. G. (1976). *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza. [2]

HERNÁNDEZ, J. y FURIÓ, C. (1987). Instabilité des conceptions alternatives des élèves du primaire et du secondaire sur les gaz. *Actas de las IX Journées Internationales sur l'Education Scientifique.* Chamonix. [13]

HEWSON, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249. [6]

HEWSON, P. W. (1985). Epistemological commitments in the learning of science: examples from dynamics. *European Journal of Science Education*, 7, 163-172. [6]

HEWSON, P. W. y HEWSON, M. G. (1987). Science teachers' conceptions of teaching: implications for teachers education. *International Journal of Science Education*, 9(4), 425-440. [8]

HEWSON, P. W., KERBY, H. W. y COOK, P. A. (1995). Determining the conceptions of teaching science held by experienced high school science teachers. *Journal of Research in Science Teaching,* 32(5), 503-520. [2]

HICKS, D. y HOLDEN, C. (1995). Exploring the Future a Missing Dimension in Environmental Education. *Environmental Education Research*, 1(2), 185-193. [1], [14]

HILL, A. (1998). Problem Solving in Real-Life contexts: An Alternative for Design in Technology Education. *International Journal of Technology and Design Education*, 8, 203-220. [2]

HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science & science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57. [2], [13]

HODSON, D. (1988). Towards a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1), 19-40. [6]

HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566. [1], [2], [3], [4], [6],[8]

HODSON, D. (1993). Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science: some preliminary findings. *Interchange*, 24(1/2) 41-52. [2]

HODSON, D. (1993). Re-thinking old ways: towards more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142. [4]

HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 47-56. [4]

HODSON, D. (1994). Seeking Directions for Change. The Personalization and Politisation of Science Education, *Curriculum Studies*, 2(1), 71-98. [2]

HOLTON, G. y BRUSH, S. (1996). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté. [12]

HOLTON, G. y ROLLER, D. (1963). *Fundamentos de la Física Moderna.* Barcelona: Reverté. [7], [12], [13]

HOLTON, G., RUTHERFORD, F. J. y WATSON, F. G. (1982). *Project Physics.* New York: Holt-Rinehart-Winston. [12]

HOYAT, F. (1962). *Les Examens*. Paris: Institut de l'UNESCO pour l'Education. Ed. Bourrelier. [8]

IMBERNON, F. (1990). La formación del profesorado, *Cuadernos de Pedagogía*, 178, 88-97. [8]

IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N. y ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59. [2]

JANSWEIJER, W., ELSHOUT, J. y WEILINGER. B. (1987). *Modelling the genuine beginner: on the multiplicity of learning to solve problems*. Early Conference. Tubingen. [5]

JARABO, F., ELORTEGUI, N. y JARABO, J. (2000). *Fundamentos de tecnología ambiental.* Madrid: Publicaciones Técnicas, S. L. [11]

JÁUREGUI, R., EGEA, F. y DE LA PUERTA, J. (1998). *El tiempo que vivimos y el reparto del trabajo*. Barcelona: Editorial Paidós. [14]

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1995). La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal. *Publicación del Departamento de Didáctica de las Ciencias*. Universidad de Extremadura. [2]

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1996). *Dubidar para aprender*. Vigo: Edicións Xerais de Galicia. [P]

JIMÉNEZ, L. M. (2001). *Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica.* Madrid: Síntesis. [11]

JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1993). La función pedagógica de la evaluación. *Aula de Innovación Educativa*, 20, 20-23. [8]

JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1995). Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Alambique*, 4, 59-77. [8]

KAPER, W. H. y GOEDHART, M. J. (2002). "Forms of energy", an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. *International Journal of Science Education*, 24(1), 81-95. [10]

KEMPA, R. F. (1991). Students' learning difficulties in science. Causes and possible remedies. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), 119-128. [8]

KING, B. B. (1991). Beginning Teachers Knowledge of and Attitude Towards History and Philosophy of Science. *Science Education*, 75(1), 135-141. [2]

KOSTER, E. H. (1999). In search of relevance: Science centers as innovators in the evolution of museums. *Daedalus,* 28(3), 277-296. [7]

KRULIK, S. y RUDNICK, K. (1980). Problem solving in school mathematics. National council of teachers of mathematics; *Year Book*. Virginia: Reston. [5]

KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica. [2], [6], [7]

LAKATOS, I. (1982). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos. [2]

LAKATOS, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial. [2]

LAKIN, S. y WELLINGTON, J. (1994). Who will teach the "nature of science"? Teachers view of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education,* 16(2), 175-190. [2]

LANGEVIN, P. (1926). La valeur éducative de l'histoire des sciences. *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 22, décembre 1926. [1], [2], [7]

LAUDAN, L. (1984). *Science and values: the aims of science and their role in the scientific debate.* Berkeley: University of California Press. [2]

LAZAROWITZ, R. y TAMIR, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. En Gabel, D. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nueva York: McMillan Pub Co. [4]

LEWIN, R. (1997). *La sexta extinción.* Barcelona: Tusquets Editores. [14]

LILLO, J. (1994). Los trabajos prácticos de Ciencias Naturales como actividad reflexiva, crítica y creativa. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 47-56. [4]

LINN, M. C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 191-216. [2], [8]

LLORENS, J. A. (1988). La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, 33-48. [13]

LLORENS, J. A., DE JAIME, Mª C. y LLOPIS, R. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 111-119. [6]

LÓPEZ CUBINO, R. (2001). *El área de Tecnología en Secundaria*. Madrid: Narcea. [2]

LOWE, R. (1996). Les nouvelles technologies, voie royale pour améliorer l'apprentissage des sciences par l'image?, *Aster*, 22, 173-194. [I.2]

LUFFIEGO, M. y RABADÁN, J. M. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 473-486. [14]

LUNETTA, V. (1998). The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.), *International Handbook of Science Education*, London: Kluwer Academic Publishers, 249-262. [4]

LUQUE, A. (1999). Educar globalmente para cambiar el futuro. Algunas propuestas para el centro y el aula, *Investigación en la Escuela*, 37, 33-45. [14]

MAALUF, A. (1999). *Las identidades asesinas*. Madrid: Alianza. [14]

MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL-PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS-MARTÍ, A., GUISASOLA, J., LÓPEZ-CEREZO, J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155. [2], [4], [7]

MALONEY, D. P. (1994). Research on problem solving: Physics. En Gabel D. L. (Ed.), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: MacMillan Pub Co. [5]

MALLINCKRODT, A. J. y LEFF, H. S. (1993). Stopping objects with zero external work: Mechanics meets thermodynamics. *American Journal of Physics*, 61(2), 121-127. [10]

MARCO, B. (2000). La alfabetización científica. En Perales, F. y Cañal, P. (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*,141-164. Alcoy: Marfil. [1], [3]

MARCHESI, A. (2000). Un sistema de indicadores de desigualdad educativa. *Revista Iberoamericana de Educación*, 23, 135-163. [1]

MARTÍNEZ, M. (1997). Consideraciones teóricas sobre educación en valores. En Filmus D. (compilador), *Las transformaciones educativas en Iberoamérica. Tres desafíos: democracia, desarrollo e integración*. Buenos Aires: Ed. Troquel. [14]

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., ALONSO, M., CARBONELL, F., CARRASCOSA, J., DOMÉNECH, J. L., DOMÉNECH, A., DOMÍNGUEZ, A., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (1999). *Física y Química de 4º de E.S.O. ("El movimiento de todas las cosas")*. Alicante: Aguaclara. [9]

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., ALONSO, M., CARBONELL, F., CARRASCOSA, J., DOMÉNECH, J. L., DOMÍNGUEZ, A., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (1997). *La estructura de todas las cosas. Segundo curso de ESO* Alicante: Ed. Aguaclara. [13]

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MARTÍNEZ SEBASTIÀ, B. y GIL-PÉREZ, D. (2003). La universidad como nivel privilegiado para un aprendizaje por investigación orientada. En Monereo, C. y Pozo, J. I. (Eds.), *La Universidad ante la nueva cultura educativa. Enseñar y aprender para la autonomía*. Barcelona: Síntesis. [9]

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (1999). La luz y la visión en la Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Educación Abierta. Aspectos didácticos de Física y Química*, 8, 69-101. [9]

MARTINS, I. (Coord.) (2000). *O Movimento CTS na Península Ibérica.* Aveiro: Universidade de Aveiro. [3]

MASON, S. F. (1985). *Historia de las ciencias*. Volumen 5. Madrid: Alianza. [7], [12]

MATTHEWS, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las Ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación,* 11-12, 141-155. [1], [2], [7]

MATTHEWS, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277. [2], [7]

MAXWELL, J. C. (1877). *Matter and motion*. Reedición de 1991. New York: Dover. [10]

MAYER, M. (1998). Educación ambiental: de la acción a la investigación. *Enseñanza de las Ciencias.* 16(2), 217-231. [14]

MAYER, V. (1995). Using the Earth System for Integrating the Science Curriculum. *Science Education*, 79(4), 375-391. [14]

MAYOR ZARAGOZA, F. (1997). Entrevista realizada por González E. *El País*, domingo 22 de junio, pág. 30. [14]

MAYOR ZARAGOZA, F. (2000). *Un mundo nuevo.* Barcelona: UNESCO. Círculo de Lectores. [P], [11], [14]

McCLELLAND, J. A. G. (1984). Alternative frameworks; Interpretation of evidence. *European Journal of Science Education,* 6, 1-6. [6]

McCOMAS, W. F. (1998). The nature of science in science education. Rationales and In W. F. McComas (Ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. [2]

McDERMOTT, L. C. (1990). A perspective on teacher preparation in physics-other sciences: the need for special science courses for teachers. *American Journal of Physics*, 58 (8), 734-742. [I.2]

McDERMOTT, L. C. (1993). Cómo enseñamos y cómo aprenden los estudiantes. ¿Un desajuste? (primera parte). *Revista de Enseñanza de la Física*, 6(1), 19-32. [10]

McFARLANE, A. E. y FRIEDLER, Y. (1998). Where you want it, when you wont it: the role of portable computers in science education. En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.), *International Handbook of Science Education.* London: Kluwer. [I.2]

McGINN, A. P. (1998). La promoción de una pesca sostenible. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H. *La situación del mundo 1998.* Barcelona: Icaria. [14]

MEDWAY, P. (1989). Issues in the theory and practice of technology education. *Studies in Science Education*, 16, 1-24. [2]

MEMBIELA, P. (Ed.) (2001). *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. Formación científica para la ciudadanía.* Madrid: Narcea. [3]

MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62. [2], [4]

MILLOT, M.C. (1996). Place des nouvelles technologies dans l'enseignement de la physique-chimie. *Didaskalia*, 8, 97-109. [I.2]

MINISTRELL, J. (1982). Explaining the "at rest" condition of an object. *Physics Teacher*, 20, 10-14. [6]

MITCHAM, C. (1989). *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona: Anthropos-Servicio Editorial del País Vasco. [2]

MORENO, A. (1988). *Aproximación a la física. Una historia de visionarios, rebeldes y creadores*. Madrid: Mondadori. [2]

MOSTERÍN, J. (1990). Prólogo al libro de Estany A. *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Crítica. (2)

NACIONES UNIDAS (1992). *UN Conference on Environment and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles.* Paris: UNESCO. [7], [11], [14]

NAREDO, J. M. (1997). Sobre el rumbo del mundo. *Le Monde diplomatique*, Ed. española, año II, n° 20, pp 1 y 30-31. [14]

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*. Washington D.C.: National Academy Press. [1], [6]

NIEDA, J. (1994). Algunas minucias sobre los trabajos prácticos en la Enseñanza Secundaria. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 15-20. [4]

NIINILUOTO, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299. [2]

NOVAK, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 213-223. [6]

NOVAK, J. D. (1991). Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), 215-228. [9]

NOVICK, S. y NUSSBAUM, J. (1981). Pupil's Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study. *Science Education*, 65(2), 187-196. [13]

NSTA (1982). *Science-Technology-Society: Science education for the 1980s.* Washington: NSTA. [3]

NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal in Science Education*, (11), Special Issue, 530-540. [2]

OGBORN, J. (1986). Energy and fuel the meaning of "the go of things". En *Energy matters*. Leeds: University of Leeds. [10]

OLIVA, J. M., ARAGÓN, M. M., BONAT, M. y MATEO, J. (2003). Un estudio del papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 424-444. [13]

O'MEARA, M. (1999). La nueva visión para las ciudades. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo, 1999.* Barcelona: Ed. Icaria. [14]

ORR, D. W. (1995). Educating for the Environment. Higher education's Challenge of the Next Century. *Change*, May/June , 43-46. [14]

OSBORNE, R. y BELL, B. F. (1983). Science Teaching and Children's views of the world. *European Journal of Science Education*, 5(1), 1-14. [6]

OSBORNE, R. y WITTROCK, M. (1983). Learning Science: a generative process. *Science Education*, 67, 490-508. [6]

OSUNA, L. (2001). La planificación de una estructura problematizada para la enseñanza de "La luz y la visión" en la ESO. Análisis de la relevancia de los objetivos propuestos y obstáculos previsibles. Tesis de maestría. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València. [9]

OTERO, J. (1985). Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7(4), 361-369. [6]

PASCUAL TRILLO, J. A. (2000). *El teatro de la ciencia y el drama ambiental.* Madrid: Miraguano Ediciones. [11]

PAYÁ, J. (1991). Los trabajos prácticos en la enseñanza de la física y química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [4]

PEDRETTI, E. (2002). T. Kuhn Meets T. Rex: Critical Conversations and New Directions in Science Centres and Science Museums. *Studies in Science Education*, 37, 1-42. [7]

PENICK, J. E. y YAGER, R. E. (1986). Trends in science education: some observations of exemplary programs in the United States. *European Journal of Science Education*, 8(1), 1-9. [P]

PERALES, F. J. y CAÑAL, P. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil. [P], [2], [3]

PFUNDT, H. y DUIT, R. (1998). *Bibliography of students' alternative frameworks in science education*. Kiel. Germany: IPN. [6]

PIAGET, J. (1969). *Psicología y Pedagogía.* Barcelona: Ariel. [I.2], [6]

PIAGET, J. (1970). *La epistemología genética*. Barcelona: Redondo. [2], [5], [6]

PIAGET, J. (1971). *Psicología y Epistemología*. Barcelona: Ariel. [6]

PINTÓ, R. (1991). Algunos aspectos implícitos en la primera y segunda ley de la termodinámica: una aportación al estudio de las dificultades de su aprendizaje. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. [10]

POMEROY, D. (1993). Implications of teachers´ beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, 77(3), 261-278. [2]

POPPER, K. R. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos. [2]

PORLÁN, R. (1993). *Constructivismo y Escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Sevilla: Diada. [8]

PORRIT, J. (1991). *Salvemos la Tierra.* Madrid: Aguilar. [11]

POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. y GERTZOG, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227. [6]

POLYA, G. (1980). On solving mathematical problems in high school. En Krulik, S. y Reys, R. E. (Eds.), *Problem solving in school mathe-matics*. Virginia: Reston.

POZO, J. I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor. [2]

POZO, J. I., GÓMEZ, M. A., LIMÓN, M. y SANZ, A. (1992). *Procesos cognitivos de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la Química.* CIDE, MEC, Colección Investigadora. [8], [9]

PREECE, P. F. (1984). Intuitive Science: Learned or Triggered? *European Journal of Science Education*, 6(1), 7-10. [6]

PRENDERGAST, W. F. (1986). Terminology of problem solving. *Problem solving News Letter*, 8(2), 1-7. [5]

QUINTANILLA, M. A. y SÁNCHEZ RON, J. M. (1997). *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Madrid: Santillana. [2], [7]

RAMÍREZ, L., GIL-PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1994). *La resolución de problemas de Física y de Química como investigación*. Madrid: MEC. [5]

RAMONET, I. (1997). *El mundo en crisis*. Madrid: Debate. [14]

REID, D. V. y HODSON, D. (1993). *Ciencia para todos en secundaria.* Madrid: Narcea. [1]

REIF, F. (1983) Teaching problem-solving. A scientific approach. *The Physics Teacher*, may, 477-478. [5]

RENNER, M. (1993). Prepararse para la paz. En Brown, L. R., *La situación del mundo, 1993*. Barcelona: Ed. Apóstrofe. [14]

RENNER, M. (1999). El fin de los conflictos violentos. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo,* 1998. Barcelona: Ed. Icaria. [14]

RESNICK, L. B. (1983). Mathematics and Science Learning: a new conception. *Science*, 220, 477-478. [6]

RESNICK, R., HALLIDAY, D. y KRANE, K. S. (1993). *Física*, vol. 1. México: Compañía Editorial Continental. [10]

RIVAS, M. (1986). Factores de eficacia escolar: una línea de investigación didáctica. *Bordón*, 264, 693-708. [3]

RODRÍGUEZ, G. D. (1998). Ciencia, Tecnología y Sociedad: Una mirada desde la educación en Tecnología. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 107-143. [2]

RODRÍGUEZ, L. M., GUTIÉRREZ, F. A. y MOLLEDO, J. (1992). Una propuesta integral de evaluación en Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias,* 10(3), 254-267. [8]

ROODMAN, D. M. (1999). El mercado en beneficio del medio ambiente. En Brown L. R., *La situación del mundo, 1996*. Barcelona: Ed. Icaria. [14]

ROSENTHAL, R. y JACOBSON, L. (1968). *Pygmalion in the classroom*. New Jersey: Rineheart and Winston. [3], [8]

ROTH, W. M. y LUCAS, K. B. (1997). From "Truth" to "Invented Reality": A Discourse Analysis of High School Physics Students´ Talk about Scientific Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 34(2), 145-179. [2]

ROTH, W. M. y ROYCHONDHURY, A. (1994). Students´ Epistemologies and Views about Knowing and Learning. *Journal of Research in Science Teaching,* 31(1), 5-30. [2]

SAGAN, C. (1980). *Cosmos*. Barcelona: Planeta. [12]

SALINAS, J. (1994). Las prácticas de física básica en laboratorios universitarios. Tesis doctoral. Departament de Didáctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [4]

SALINAS, J. y COLOMBO DE CUDMANI, L. (1992). Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida. *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 10-17. [4]

SALTIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 137-144. [2]

SÁNCHEZ RON, J. M. (1994). ¿El conocimiento científico, prenda de felicidad? En Nadal J. (Ed.), *El mundo que viene,* 221- 246. Madrid: Alianza. [2]

SÁNCHEZ RON, J. M. (1988). Usos y abusos de la historia de la ciencia en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*. 6(2), 179-188. [7]

SÁNCHEZ RON, J. M. (1999). *Como al león por sus garras.* Madrid: Debate. [7], [12]

SANTOS, M. A. (1993). La evaluación: un proceso de diálogo, comprensión y mejora. *Investigación en la Escuela*, 20, 23-35. [8]

SATTERLY, D. y SWAM, N. (1988). Los exámenes referidos al criterio y al concepto de ciencias: un nuevo sistema de evaluación. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 278-284. [8]

SCRIVE, M. (1989). Le film d'exposition scientifique, un choc entre deux cultures. *Aster*, 9, 69-83. [7]

SCHECKER, H. P. (1998). Integration of experimenting and modelling by advanced educational technology: examples from nuclear physics. En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.), *International Handbook of Science Education.* London: Kluwer. [I.2]

SELLEY, N. J. (1989). The philosophy of school science. *Interchange*, 20(2), 24-32. [2]

SELVARATNAM, M. (1974). Use of Problems in Chemistry Courses. *Education in Chemistry*, November, 201-205. [5]

SEN, A. (1999). *Desarrollo y libertad*. Barcelona: Planeta. [14]

SEOÁNEZ CALVO, M. (1998). *Medio Ambiente y Desarrollo: Manual de gestión de los recursos en función del medio ambiente. Manual para responsables, gestores y enseñantes. Soluciones a los problemas medioambientales.* Madrid: Mundi Prensa. [11]

SERÉ, M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science*, 8(4), 413-425. [13]

SERRES, M. (1991). *Historia de las Ciencias.* Madrid: Cátedra. [7]

SEXL, R. U. (1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3(3), 285-289. [10]

SHAMOS, M. (1995). *The Myth of Scientific Literacy*. New Brunswick (N. J.): Rutgers University Press. [1]

SHUELL, T. J. (1987). Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science. *Science Education*, 71(2), 239-250. [6]

SIFREDO BARRIOS, C. (2000). La resolución de problemas en el proceso de enseñanza aprendizaje de la Física. Campo C. A., Valencia, V. H. (compiladores), *Ciencia y tecnología en los currículos de los países del convenio Andrés Bello.* Bogotá: Tercer Mundo Editores. [5]

SILVER, D. y VALLELY, B. (1998). *Lo que tú puedes hacer para salvar la Tierra.* Madrid: Lóguez Ed. [11], [14]

SIMPSON, R. D., KOBALA, T. R., OLIVER, J. S. y CRAWLEY, F. E. (1994). Research on the affective dimension of science learning. En Gabel, D. L. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning.* N.Y.: McMillan Pub Co. [P], [1]

SIMPSON, R. D. y OLIVER, S. (1990). A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students. *Science Education*, 74(1), 1-18. [P]

SOLBES, J. (2002). *Les empremtes de la Ciència. Ciència, Tecnologia, Societat: Unes relacions controvertides.* Valencia: Germania. [7], [12]

SOLBES, J. y TRAVER, M. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 103-112. [7]

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386. [P], [1], [2], [3], [7], [14]

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1998). Las interacciones CTS en los nuevos textos de secundaria. En Banet, E. y De Pro, A. (Coords.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 1, 142-147. Murcia: D. M. [2]

SOLBES, J. y VILCHES, A. (2000). La introducción de las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad en la enseñanza de las ciencias y su evolución. *Educación Química,* 11(4), 387-394. [3]

SOLBES. J., VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2001). Papel de las interacciones CTS en el futuro de la enseñanza de las ciencias. En Membiela (Ed.), *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. Formación científica para la ciudadanía.* Madrid: Narcea. [3]

SOLOMON, J. (1987). Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82. [2]

SOLOMON, J., DUVEEN, J. y SCOTT, L. (1994). Pupils´ images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-373. [2]

SONGER, N. B. (1998). Can technology bring students closer to science? En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.) *International Handbook of Science Education.* London: Kluwer. [I.2]

SPEAR, M. G. (1984). Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics. *European Journal of Science Education*, 6(4), 369-377. [3], [8]

SPITULNIK, M. W., STRATFORD, S., KRAJCIK, J. y SOLOWAY, E. (1998). Using Technology to support students' artefact construction in science. En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.), *International Handbook of Science Education.* London: Kluwer. [I.2]

STINNER, A. (1992). Science textbooks and science teaching: from logic to evidence. *Science Education*, 76(1), 1-16. [2]

TAMIR, P. (1998). Assessment and evaluation in science education: opportunities to learn and outcomes. En Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (Eds.), *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers. [8]

TAMIR, P. y GARCÍA, M. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de textos de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 3-12. [4]

THE EARTH. WORKS GROUP (2000). *Manual práctico de reciclaje.* Barcelona: Blume. [11]

THOMAZ, M. F., CRUZ, M. N., MARTINS, I. P. y CACHAPUZ, A. F. (1996). Concepciones de futuros profesores del primer ciclo de primaria sobre la naturaleza de la ciencia: Contribuciones de la formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 315-322. [2]

TILBURY, D. (1995). Environmental education for Sustainability: defining the new focus of environmental education in the 1990´s. *Environmental Education Research,* 1(2), 195-212. [3], [14]

TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos.* Madrid: Alianza. [2], [6]

TRAVÉ, G. y POZUELOS, F. (1999). Superar la disciplinariedad y la transversalidad simple: hacia un enfoque basado en la educación global. *Investigación en la Escuela,* 37, 5-13. [14]

TRAVER, M. J. (1996). La història de les ciències en l´ensenyament de la Física i la Química. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [2]

TRUMPER, R. y GORSKY, P. (1993). Learning about energy: the influence of alternative frameworks, cognitive levels, and closed-mindedness. *Journal of Research in Science Teaching,* 30(7), 637-748. [10]

TUXILL, J. (1999). Valoración de los beneficios de la biodiversidad. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo*, *1999*. Barcelona: Icaria. [14]

TUXILL, J. y BRIGHT, C. (1998). La red de la vida se desgarra. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H., *La situación del mundo*, *1998*. Barcelona: Icaria. [14]

UNESCO (1975). *Nuevo Manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana. [13]

UNESCO (1987). Elementos para una estrategia internacional de acción en materia de educación y formaciones ambientales para el decenio de 1990. En *Congreso Internacional UNESCO-PNUNA sobre la Educación y la Formación Ambientales.* Moscú: UNESCO. [14]

VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de la física. *Revista Española de Física*, 8(4), 50-52. [I.2]

VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias,* 12(3), 412-415. [4]

VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1998). Familiarización de los estudiantes con la automatización de experimentos mediante computadoras: determinación de la velocidad del sonido en el aire. *Revista Española de Física*. 12, 33-38. [4]

VERCHER, A. (1998). Derechos humanos y medioambiente. *Claves de Razón práctica,* 84, 14-21. [14]

VERDÚ, R. (2004). La estructura de los temas y cursos como problema: un instrumento de ayuda al aprendizaje de la Física y la Química. Tesis doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universitat de València. [9]

VERDÚ, R., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y OSUNA, L. (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada. *Alambique*, 34, 47-55. [9]

VIENNOT, L. (1979). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Elémentaire*. Paris: Herman. [6]

VIENNOT, L. (1989). L'enseignement des sciences physiques objet de recherche. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 899-910. [8]

VIGOTSKY, L. S. (1973). Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. *Psicología y Pedagogía.* Madrid: Akal. [6]

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia.* Madrid: Cambridge University Press. [1], [7], [10], [11], [12], [14]

WARREN, J. W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4(3), 295-297. [10]

WATSON, J. (1994). Diseño y realización de investigaciones en las clases de Ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 57-65. [4]

WHITAKER, R. J. (1983). Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51, 352-357. [6]

WHITE, T. R. y GUNSTONE, F. R. (1989). Meta-learning and conceptual change. *International Journal Science Education*, 11, 577-586. [6]

YAGER, R. E. y PENICK, J. E. (1983). Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, 5, 463-459. [6]