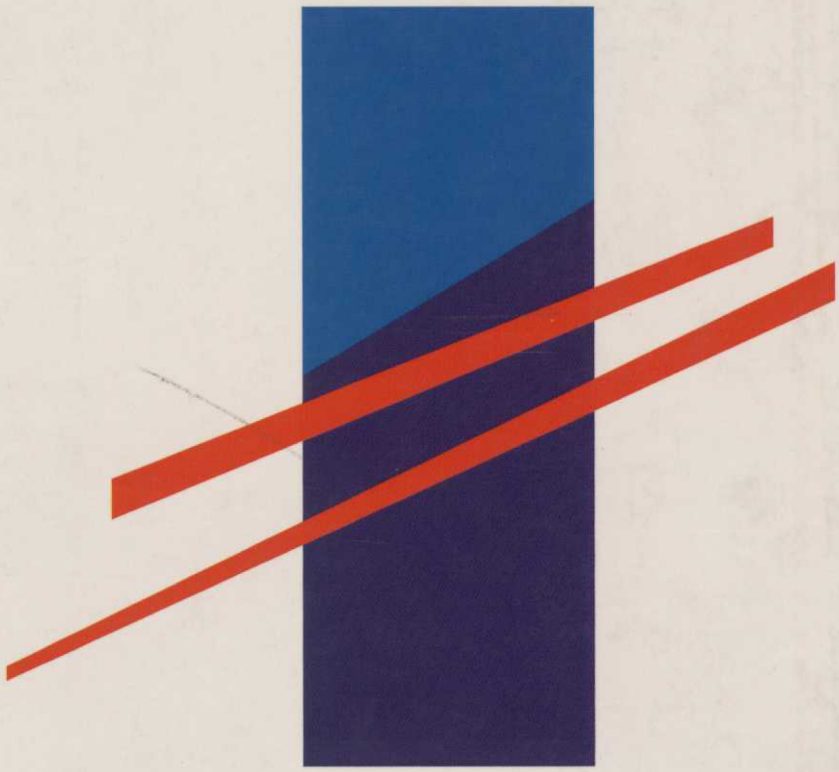
1

Materiales Didácticos

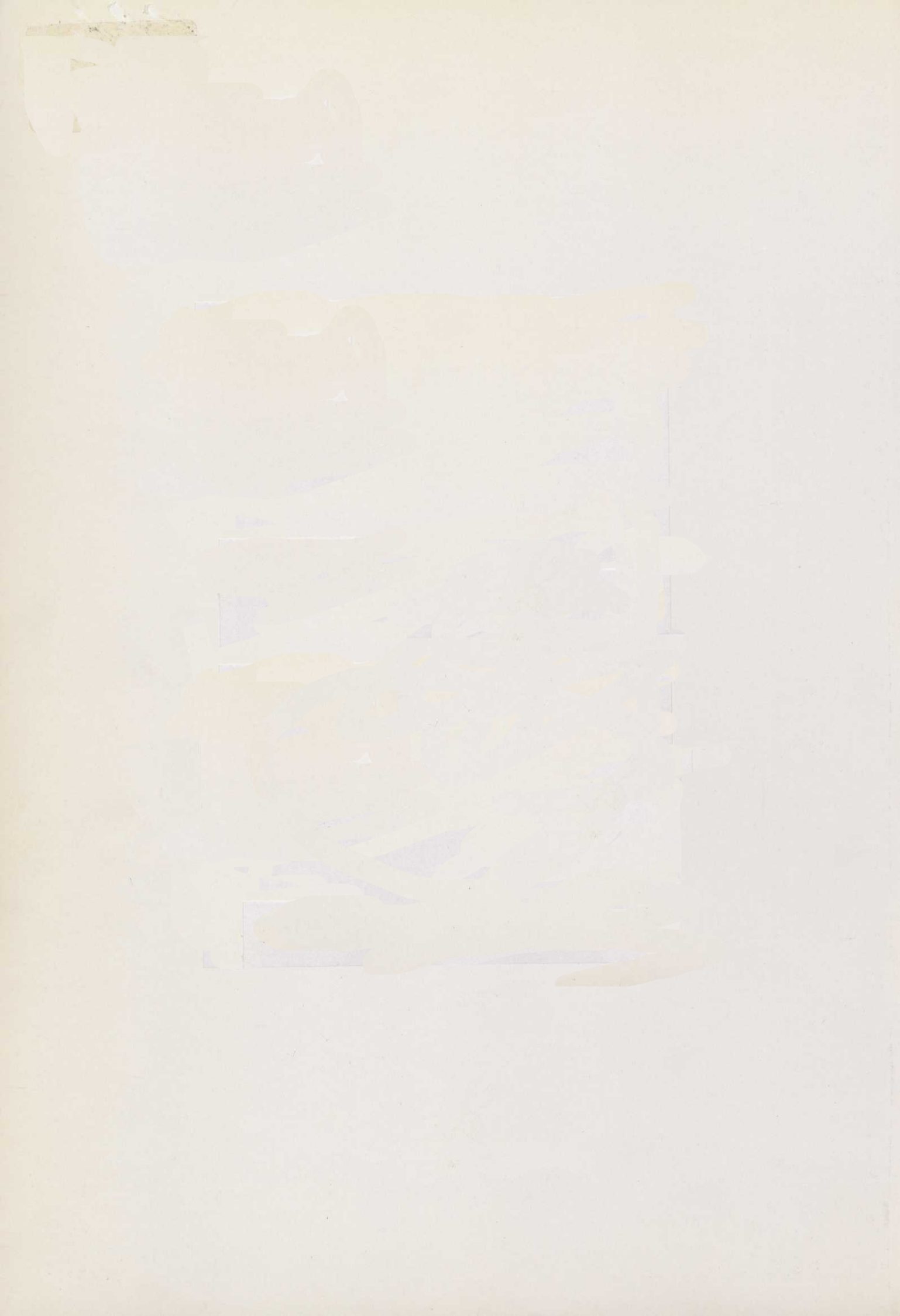
Ciencias de la Naturaleza

4º CURSO

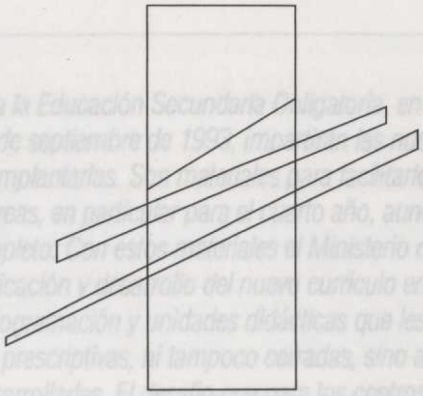


SECUNDARIA OBLIGATORIA

Ministerio de Educación y Ciencia



Materiales Didácticos



4º Curso

Ciencias de la Naturaleza

Autores:
María Jesús Caballer Senabre
Jesús Molledo Cea
Félix A. Gutiérrez Muzquiz
Luis Rodríguez Barreiros (Coord.)

Ministerio de Educación y Ciencia

DEPARTAMENTO DE INFORMACIÓN, DOCUMENTACIÓN, EDICIÓN Y DIFUSIÓN
C. N. R. E. E. / SERVICIO DE INNOVACIÓN:

- *Coordinación de la edición:* Ana Francisca Aguilar Sánchez
- *Maquetación y supervisión de pruebas:* Pedro Sauras Jaime

MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DOCUMENTACIÓN Y EVALUACIÓN
Servicio de Documentación, Biblioteca y Archivo
C/ San Agustín, 5 28014 MADRID
Teléfono.: 3693626; Fax: 3693628
FECHA DE DEVOLUCIÓN

Ministerio de Educación y Ciencia
Secretaría de Estado de Educación
N. I. P. O.: 176-93-082-7
I. S. B. N.: 84-369-2394-4
Depósito legal: Z-2180-93
Realización: EDELVIVES

Prólogo

La finalidad de estos materiales didácticos para la Educación Secundaria Obligatoria, en su segundo ciclo, es orientar a los profesores que, a partir de septiembre de 1993, impartirán las nuevas enseñanzas en los centros que se anticipan a implantarlas. Son materiales para facilitarles el desarrollo curricular de las correspondientes áreas, en particular para el cuarto año, aunque alguna de ellas se presenta para el segundo ciclo completo. Con estos materiales el Ministerio de Educación y Ciencia quiere facilitar a los profesores la aplicación y desarrollo del nuevo currículo en su práctica docente, proporcionándoles sugerencias de programación y unidades didácticas que les ayuden en su trabajo; unas sugerencias, desde luego, no prescriptivas, ni tampoco cerradas, sino abiertas y con posibilidades varias de ser aprovechadas y desarrolladas. El desafío que para los centros educativos y los profesores supone anticipar la implantación de las nuevas enseñanzas, constituyéndose con ello en pioneros de lo que será más adelante la implantación generalizada, merece no sólo un cumplido reconocimiento, sino también un apoyo por parte del Ministerio, que a través de estos materiales didácticos pretende ayudar a los profesores a afrontar ese desafío.

El Ministerio valora muy positivamente el trabajo de los autores de estos materiales, que se adaptan a un esquema general propuesto por el Servicio de Innovación, de la Subdirección General de Programas Experimentales, y han sido elaborados en estrecha conexión con los asesores de este Servicio. Por consiguiente, aunque la autoría pertenece de pleno derecho a las personas que los han preparado, el Ministerio considera que son útiles ejemplos de programación y de unidades didácticas para la correspondiente área, y que su utilización por los profesores, en la medida que se ajusten al marco de los proyectos curriculares que los centros establezcan y se adecuen a las características de sus alumnos, servirá para perfeccionarlos y para elaborar en un futuro próximo otros materiales semejantes.

La presentación misma, en forma de documentos de trabajo y no de libro propiamente dicho, pone de manifiesto que se trata de materiales con cierto carácter experimental, destinados a ser contrastados en la práctica, depurados y completados. Es intención del Ministerio seguir realizando ese trabajo de contrastación y depuración a lo largo del próximo curso, y hacerlo precisamente a partir de las sugerencias y contrapropuestas que vengan de los centros que se anticipan a la reforma.

Para cada una de las áreas de la Educación Secundaria Obligatoria se han elaborado una o más propuestas de materiales didácticos. En este último caso se trata de Matemáticas, con dos volúmenes correspondientes a sus dos opciones para el cuarto curso, Lenguas Extranjeras, con una propuesta de Francés y otra de Inglés, Educación Física, con dos materiales alternativos y Ciencias Sociales, Geografía e Historia, que además de la propuesta de la correspondiente área para el segundo ciclo se complementa con una específica para el bloque sobre la vida moral y la reflexión ética.

Los materiales así ofrecidos a los profesores tienen un carácter netamente experimental. Son materiales para ser desarrollados con alumnos que proceden mayoritariamente de la Enseñanza

General Básica y que se han incorporado al segundo ciclo de la Enseñanza Secundaria Obligatoria sin haber realizado el primer ciclo. Se trata, por tanto, de materiales para un momento transitorio y, por eso, también particularmente difícil: el momento de tránsito de la anterior a la nueva ordenación. En ellos se contiene, sobre todo, la información imprescindible sobre distribución y secuencia de contenidos para poder organizar éstos en el cuarto año de la etapa a lo largo del curso 1993/94. Las sugerencias y contrapropuestas que los profesores realicen, a partir de su práctica docente, respecto a esos materiales o a otros con los que hayan trabajado serán, en todo caso, de enorme utilidad para el Ministerio, que a través de futuras propuestas, que complementen a las actuales, podrán redundar en beneficio de los centros y profesores que en cursos sucesivos se incorporen a la reforma educativa.

Índice

	Páginas
INTRODUCCIÓN	7
PRINCIPIOS DIDÁCTICOS	9
EL TRABAJO EN GRUPO	11
EL AMBIENTE DE AULA	15
LA PERSPECTIVA CONSTRUCTIVISTA DEL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS	19
EL ENFOQUE CIENCIA-TECNOLOGÍA-SOCIEDAD	25
LA EVALUACIÓN	29
BIBLIOGRAFÍA	33
PRIMERA UNIDAD DIDÁCTICA: LA ENERGÍA: PASADO, PRESENTE Y FUTURO	37
INTRODUCCIÓN	39
REVISIÓN DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE LA DIDÁCTICA DE LA ENERGÍA	41
La naturaleza de la energía	41
La energía en el mundo cotidiano	42
Las concepciones de los estudiantes sobre la energía	43
Implicaciones didácticas	46
LAS IDEAS DE NUESTROS ALUMNOS Y ALUMNAS SOBRE LA NOCIÓN DE ENERGÍA	53
Descripción del cuestionario	53
Análisis de las respuestas	57
DESARROLLO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA	65
Programa de actividades	65
1. Introducción	67
2. Aproximación cualitativa al concepto de energía	69
3. Profundización en el concepto de energía	81
4. La energía de nuestro mundo	101

Contenidos y criterios de evaluación 111
Esquema de evaluación 115
BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS 121
SEGUNDA UNIDAD DIDÁCTICA: LOS SERES VIVOS CAMBIAN 125
INTRODUCCIÓN 127
DESARROLLO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA 129
Programa de actividades 129
1. Seres vivos del pasado 130
2. Seres vivos y cambios 138
3. Los seres vivos cambian 145
Contenidos y objetivos didácticos 148
Esquema de evaluación 149
BIBLIOGRAFÍA 151
UNA POSIBLE PROGRAMACIÓN PARA EL CUARTO CURSO DE LA E. S. O. 153
INTRODUCCIÓN 155
DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTENIDOS 157
Física y Química 157
Biología y Geología 162
BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS 165
Física y Química 165
Biología y Geología 173

Introducción

Los distintos materiales que se incluyen en esta publicación pretenden servir de ayuda a los profesores y las profesoras que vayan a impartir el área de Ciencias de la Naturaleza en el cuarto curso de la nueva Educación Secundaria Obligatoria.

Es lógico que la introducción de algunos cambios en el sistema educativo produzca una cierta intranquilidad entre quienes están destinados a ser los agentes de tales transformaciones, máxime cuando, desde diversas instancias, no se ha logrado difundir, de forma convincente, la ineludible necesidad de poner al día unas instituciones educativas que surgieron en una sociedad que hace ya mucho tiempo que dejó de existir.

Sin ánimo de resolver el problema que afecta, entre otros aspectos, al concepto mismo de lo que debe ser un profesional de la educación, lo que sí queremos dejar bien claro es que la investigación, al menos en el campo de la didáctica de las ciencias, está ya en condiciones de ofrecernos ideas y resultados satisfactorios para hacer frente a los nuevos retos que se avecinan. Y no nos estamos refiriendo tan sólo a la demanda social de una educación mejor y para todos, sino al hecho que tanto le cuesta asumir al profesorado de Bachillerato de que la enseñanza de las ciencias, tanto en este nivel como en el universitario, es actualmente una empresa en quiebra: los estudiantes no suelen aprender los conceptos, leyes y teorías básicas, raramente aplican estos principios en la vida real y, a la postre, su actitud hacia la ciencia es cada vez más negativa conforme se asciende por la pirámide educativa. Parece claro, por lo tanto, que los hechos imponen, sin olvidar el en parte razonable clima de desmoralización que reina entre el colectivo docente, una modificación en la manera en que se enseñan y ¿se aprenden? las ciencias. Si estas páginas contribuyeran, siquiera modestamente, al logro de semejante empeño, nuestro esfuerzo se vería plenamente recompensado.

Veamos, a continuación, los distintos contenidos que se recogen en el documento, los cuales se han agrupado en cuatro capítulos. **En el primero**, se resumen los principios didácticos que consideramos fundamentales a la hora de implantar nuevos modos de intervención en el aula. Estos son, respectivamente, los que hacen referencia al trabajo en grupo, al clima de clase, a la perspectiva constructivista del aprendizaje, al enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad y, por último, a la evaluación. Este apartado posee una notable importancia para nosotros, ya que aquí el profesorado dispone de una amplia autonomía. Lo que el M.E.C. propone a este respecto es un conjunto de orientaciones didácticas y para la evaluación, las cuales, salvo en el caso de los criterios de evaluación, no son prescriptivas. En consecuencia, habrán de ser los equipos de profesores los que opten por unos enfoques o por otros. Los cinco principios que se acaban de señalar, ya sean de índole metodológica o se refieran a las nuevas orientaciones del currículo, constituyen un bloque interrelacionado y coherente que puede ser una valiosa ayuda para aquellos compañeros y compañeras que deseen iniciar pequeños cambios en su trabajo cotidiano. Y es que una cosa debe quedar clara: la renovación ha de hacerse paso a paso, planteándose objetivos modestos que sean fácilmente abordables. Pretender cambiar la práctica de forma radical, de arriba a abajo, con frecuencia lleva a la parálisis y, por consiguiente, puede ser la mejor manera de dejar las cosas tal y como están.

En el segundo y en el tercer capítulo, se incluyen dos ejemplos de unidades didácticas: La Energía y Los Seres Vivos, respectivamente. En su elaboración, como sendos programas de actividades, se ha intentado mantener una cierta coherencia con los principios anteriores, así como con los resultados de la investigación en cada uno de los campos. Las unidades comprenden, por tanto, y como paso previo, un resumen de los resultados de dichas investigaciones, fundamentalmente, en lo que se refiere a las ideas previas de los y las estudiantes y sus implicaciones didácticas. Las unidades se acompañan de un esquema para la evaluación de los alumnos y las alumnas.

Por fin, en el cuarto capítulo se muestra una posible programación para el cuarto curso de la E. S. O., en la que, lógicamente, se integran las dos unidades citadas. Al contrario de lo que piensa algún sector del profesorado, nuestra opinión es que el currículo de la etapa 12–16 se ha cerrado en demasía, lo que impide la selección de unos contenidos que algunos profesores y profesoras consideramos más relevantes para el alumnado. Con los bloques prescritos, las posibilidades a la hora de programar, más allá de la opción por un enfoque más o menos globalizador, no pueden ser muy diferentes. Como se verá, nosotros hemos elegido, a partir de la problemática surgida en los centros que han adelantado la Reforma, un planteamiento que consideramos «realista».

Principios Didácticos

En este primer capítulo, y a modo de fundamentación teórica, se resumen algunos de los principios didácticos que vienen orientando nuestro trabajo en los últimos años. Puesto que, como dice Jackson (1975), *el trayecto de progreso pedagógico se parece más al vuelo de una mariposa que al de una bala*, no debe resultar extraño el hecho de que no se recurra a un único modelo teórico sino que, por el contrario, hayamos preferido servirnos de un variado número de *ideas-fuerza*.

Los dos primeros principios, que se refieren al trabajo en grupo y al clima de clase respectivamente, podrían incluirse dentro del ámbito metodológico. El tercero, en el que se presenta la perspectiva constructivista del aprendizaje, y el cuarto, relativo al enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad, constituyen, más bien, nuevas orientaciones para la construcción del currículo y, cómo no, para la programación y elaboración de unidades didácticas.

Sin embargo, estos cuatro principios, así como el quinto, concerniente a la evaluación, se encuentran profundamente relacionados, de manera que la asunción de uno de ellos tiene repercusiones en todos los demás. Sucede aquí algo parecido a lo señalado por los teóricos del *caos* respecto al aleteo de nuestra mariposa, el cual, al agitar hoy el aire de Pekín, puede modificar el clima de New York el mes que viene (Gleick, 1988).

En consecuencia, la propuesta que nosotros hacemos se basa en *entrecruzar*, dentro de cada Unidad didáctica, las principales implicaciones de las ideas-fuerza antes mencionadas. Esperamos que los dos ejemplos de unidades que se incorporan más adelante sean una aceptable cristalización de dicho objetivo. Confiamos, asimismo, en que la forma de trabajo que se sugiere llegue a ser una valiosa herramienta para el profesorado —como lo ha sido y lo es para nosotros—, no sólo durante este período de tránsito, sino en el posterior de consolidación del nuevo sistema educativo.

El trabajo en grupo

La mayor parte de las actividades incluidas en las unidades se han pensado para su realización en pequeños grupos de tres o cuatro componentes. Incluso aquéllas en las que el profesor o la profesora ha de introducir ciertos conceptos, leyes o teorías, suelen llevar al final una serie de cuestiones que, de nuevo, deben resolverse mediante la discusión en equipo y la consiguiente puesta en común.

En general, el trabajo en clase comienza con una propuesta por parte del profesor, en la que los grupos discutan, resuelvan o elaboren la actividad que corresponda. Se les proporciona un tiempo ajustado, con el fin de lograr un ritmo de ocupación que evite la distracción y el aburrimiento, pero suficiente para realizar la tarea encomendada. Durante el mismo, cada alumno o alumna anota en su *cuaderno* las conclusiones alcanzadas dentro del grupo. A continuación, se realiza la *puesta en común*, cuyas consecuencias también son registradas, por separado, en el cuaderno. Esta «libreta», junto con la información contenida en los programas de actividades, se configura poco a poco como un auténtico y personal «libro de texto». Es fácil darse cuenta de que la misión del profesor no es la de un mero transmisor de conocimientos, sino que su papel se manifiesta principalmente en la coordinación de los debates, en los que procurará conjugar las sugerencias de los y las estudiantes y las finalidades previstas al diseñar las actividades. Esto presupone que tales actividades, y el programa en su conjunto, no están cerradas de antemano, sino que pueden y deben ser reorientadas en función de cómo transcurra el proceso de enseñanza y aprendizaje.

¿Cuáles son las razones que nos han impulsado a dar tanta relevancia al aprendizaje cooperativo?

En las líneas que siguen trataremos de dar respuesta a esta pregunta, a la vez que procuraremos señalar algunas pautas que nos ayuden a organizar y coordinar una dinámica de la clase basada en semejantes características.

Coll (1984) indica que, desde el punto de vista de las investigaciones realizadas, la organización cooperativa de las actividades escolares tiene unos efectos más favorables sobre el aprendizaje (no sólo de los contenidos socioafectivos, sino también de los instrumentales y conceptuales) que la organización competitiva o individualista.

La investigación sobre las posibles ventajas del trabajo en grupo es bastante reciente. De los diversos marcos teóricos que orientan los estudios en este terreno destacaremos dos: la **epistemología genética** (Piaget, 1975, 1981), en particular, la **hipótesis del conflicto sociocognitivo**, y la **psicología de Vygotski** (Riviére, 1985), en especial, su concepción de las **relaciones entre aprendizaje y desarrollo**. Dentro de este bloque podríamos incluir la producción interactiva de Mead (Ovejero, 1990).

De los estudios encuadrados en el primer grupo nos ocuparemos, por su interés y accesibilidad, de los realizados por Doise y Mugny (1983) y por Perret-Clermont (1984). Para esta escuela, la

existencia de unos puntos de vista diferentes se traduce, gracias a la exigencia de un trabajo en grupo, en un conflicto sociocognitivo que moviliza y fuerza las reestructuraciones intelectuales y, con ello, el progreso intelectual.

Las razones aducidas para justificar la eficacia del conflicto sociocognitivo son las siguientes: en primer lugar, porque el alumno toma conciencia de respuestas diferentes a la suya. En segundo término, porque al actuar conjuntamente obliga a todos a estructurar mejor las actividades, a explicarlas y a coordinarlas. Por último, y tal vez el aspecto más importante, porque el conflicto sociocognitivo aumenta las posibilidades de que los alumnos y las alumnas sean activos cognoscitivamente. Algunas investigaciones han venido a mostrar que los grupos que afrontan abiertamente el conflicto que resulta de sus divergencias interindividuales tienden a producir soluciones cualitativamente superiores, proponen más soluciones nuevas y van más allá del nivel del miembro más capacitado del grupo.

Sin embargo, no siempre los conflictos tienen como resultado el aprendizaje. Johnson (1981) propone una serie de condiciones para que surjan comentarios y discusiones con efectos constructivos:

- Los grupos deben ser heterogéneos en cuanto a personalidad, sexo, conocimientos previos, actitudes, etc.
- Los alumnos y las alumnas tienen que poseer información relevante y motivación por las tareas.
- Es importante que, además, tengan tendencia a discrepar, siempre que esta tendencia no se deba a la incompetencia o a la falta de información.
- Cuanto más elevada es la perspectiva teórica de los oponentes mejores son los resultados de la discusión.
- Si los alumnos y las alumnas son capaces de relativizar sus puntos de vista y de adoptar la perspectiva de sus compañeros y compañeras los comentarios son más constructivos.
- Cuanto más cooperativa es la situación mejores son los resultados.

Una excelente presentación de las aportaciones de los trabajos de los hermanos Johnson sobre la controversia constructiva en el aprendizaje escolar pueden encontrarse en Santos (1990).

Las investigaciones del segundo grupo tienen como pioneros a Forman y Cazden (1984), que han protagonizado sustanciales aportaciones sobre el conocimiento del proceso de coordinación que tiene lugar entre los participantes durante la realización de las tareas de aprendizaje.

En efecto, estos autores, inspirados en las tesis de Vygotski, han dedicado sus esfuerzos a conocer en detalle los mecanismos psicológicos responsables de la influencia de la interacción, y a exponer los procesos que permiten la adquisición y utilización del conocimiento. Para Forman y Cazden, la interacción social no sólo favorece el desarrollo sino que es el origen y motor del aprendizaje y del desarrollo intelectual gracias al proceso de interiorización que lo hace posible.

La novedad de este enfoque radica, según Ovejero (1990), en la estrecha conexión que se postula entre el desarrollo intelectual y cognitivo por una parte y la interacción social por otra, de tal forma que la perspectiva de Vygotski llega a ser, en este sentido, opuesta a la Piaget, pues para Vygotski *el proceso de desarrollo no coincide con el de aprendizaje, el proceso de desarrollo sigue al de aprendizaje*.

Como ya se sabe, Vygotski propuso el concepto de **desarrollo potencial** para definir el conjunto de actividades que el niño es capaz de realizar con la ayuda, colaboración o guía de otras personas. Es más, el rasgo esencial del aprendizaje, en palabras de Vygotski (Ovejero, 1990) *es que*

engendra el área de desarrollo potencial, o sea, que hace nacer, estimula y activa en el niño un grupo de procesos internos de desarrollo dentro del marco de las interrelaciones con otros, que a continuación son absorbidos por el curso interno del desarrollo y se convierten en adquisiciones del niño.

El lenguaje adquiere esta función reguladora cuando es utilizado en toda su potencialidad instrumental, es decir, cuando es utilizado como instrumento para llevar a cabo diferentes formas de comportamiento, en el marco de la interacción social. Junto a la función comunicativa, el lenguaje tiene también una función reguladora de los procesos cognitivos, pues el intento de formular verbalmente la representación propia con el fin de comunicarla a los demás obliga a reconsiderar y reanalizar lo que se pretende transmitir (Coll, 1984).

Forman y Cazden han trasladado los efectos reguladores del lenguaje a la interacción entre iguales. Los estudios realizados se han basado esencialmente en tres tipos de análisis: el derivado de observar cómo evolucionan las pautas interactivas que se establecen entre los participantes; el que procede de contemplar cómo evoluciona el proceso de realización de la tarea y, finalmente, el derivado de advertir cómo se coordinan y condicionan mutuamente ambos aspectos.

El análisis microgenético de dichas observaciones les ha llevado a señalar, al menos, dos efectos favorables de la resolución de tareas en grupo.

- El hecho de proporcionar y recibir explicaciones de los compañeros en el transcurso de la interacción tiene efectos cognitivos beneficiosos para el emisor y el receptor. Webb (1984) sugiere que los alumnos y las alumnas pueden aprender mejor mediante una interacción grupal, porque utilizan un lenguaje que los compañeros son capaces de entender.

- De las situaciones en que un estudiante instruye a sus compañeros y compañeras se derivan efectos favorables para el emisor. Prepararse para enseñar a alguien puede producir una reestructuración cognitiva más altamente organizada que el simple hecho de aprender el material para uno mismo.

Vayamos ahora con los **aspectos prácticos del trabajo cooperativo**. En primer lugar, **¿cómo se forman los grupos?**

En estos últimos años, hemos optado, con bastante éxito, por solicitar a los alumnos y las alumnas que elijan a dos compañeros con los que les gustaría colocarse en clase. Con esta información, el profesor selecciona «parejas» de amigos que combina con otras, de manera que los miembros de una de ellas no hayan elegido a los componentes de la otra. Así, como se indica en el C. L. I. S. P.[1] (1987), cada alumno o alumna tendrá en su grupo a una persona que, en principio, le prestará cierto apoyo, y otras dos que inicialmente pueden darle la réplica u ofrecer puntos de vista diferentes. Se trata, como habrá podido apreciarse, de favorecer la controversia constructiva de ideas. Esto no implica que los grupos así formados tengan, necesariamente, que funcionar de acuerdo con nuestras expectativas.

Surge, pues, una segunda pregunta: **¿cómo constatar el grado de satisfacción en el funcionamiento de los grupos?**

Para conocer si cada miembro está a gusto con el funcionamiento del grupo al que pertenece, conviene preguntarles directamente, aprovechando, por ejemplo, las breves encuestas que han de realizarse al finalizar cada Unidad. Como veremos en el segundo epígrafe, estas encuestas forman parte de un proyecto más general que permite a los alumnos aportar sus opiniones sobre el desarrollo de la clase.

En cuanto al funcionamiento, el profesor puede recurrir al análisis de las parrillas de observación —véase el esquema de evaluación que se incluye en la Unidad didáctica sobre la energía—, una de cuyas categorías se refiere, precisamente, al trabajo de los grupos.

1. Children's Learning In Science Project (C. L. I. S. P.). *Approaches to teaching energy.* Leeds. CSSME.

En resumen, uno de los objetivos que los profesores y las profesoras deberían marcarse durante el inicio del curso reside en lograr que los grupos funcionen correctamente, esto es, que sus miembros actúen cooperativamente, intercambiando opiniones y tratando, si es posible, de llegar a conclusiones comunes. Para ello será preciso que aquéllos enseñen y evalúen las destrezas que permitan la buena marcha del trabajo en equipo.

El ambiente de aula

El segundo principio metodológico se refiere a la actitud del profesor y al clima de clase que éste debe propiciar.

Respecto a la **actitud del profesor,** la etnografía educativa, dentro del área de las perspectivas de los alumnos sobre la escuela, nos proporciona algunas pistas a tener en cuenta. En efecto, como señala Woods (1987), *los etnógrafos interesados en averiguar cómo los estudiantes representan la realidad de la escuela han descubierto que no les caen bien los profesores que son pura «hojarasca», mojigatos, que los hacen de menos, que no saben quiénes son; que son contrarios al exceso de rutina, regulación y restricciones; en cambio han descubierto que les gustan los profesores capaces de «reír» con ellos, francos, razonables y comprensivos, pero que también pueden «enseñar» y «controlar».*

Parece claro, por lo tanto, que desde el punto de vista de los y las estudiantes hay un deseo de que se «humanice» la institución escolar, Para ello, tal vez sea preciso dejar a un lado el tipo de profesor que se limita a transferir conocimientos sin preocuparse por los problemas de los alumnos y recuperar al profesor o profesora que se considera a sí mismo como un educador —cuestión que, por cierto, asusta a una gran parte de los docentes, que se sienten abrumados por tanta exigencia—.

Junto a esta demanda de respeto y preocupación, los alumnos y las alumnas requieren, máxime en estos tiempos de crisis, que los profesores sean capaces de controlar el funcionamiento de la clase —a nadie le gusta perder el tiempo— y enseñar adecuadamente. Con este fin, la utilización de materiales curriculares bien confeccionados y de elaboración propia, así como de un esquema de evaluación global, pueda posibilitar que los estudiantes encuentren el sentido de la tarea, a la vez que un motivo para respetar al profesor.

Todo lo dicho ayudará, sin duda, a establecer un **clima de clase** no amenazante, requisito indispensable para que el debate propio del aprendizaje cooperativo se pueda producir. Para ello, consideramos muy conveniente generar un ambiente en el aula que permita a los alumnos y las alumnas la expresión de sus propias ideas, sin temor a «juicio». Es decir, el proceso debe favorecer la confianza de las personas en su capacidad para aprender y no el miedo a la equivocación, ya que las personas necesitamos que se confíe en nosotras mientras aprendemos. Hay otras medidas, sin embargo, que también nos parecen imprescindibles:

- Dedicar una sesión, a poder ser la primera del curso, a explicar la forma en la que se va a trabajar —discusión de actividades en grupo, puestas en común, etc.— y a evaluar ese trabajo.
- Establecer un procedimiento para que los alumnos y las alumnas puedan participar en la organización de la clase. Esto puede hacerse de diferentes formas: con breves encuestas individuales o en grupo, mediante la elaboración de informes por cada grupo, a través de asambleas periódicas donde se traten los temas problemáticos en la marcha del curso... Cualquiera que sea el procedimiento elegido, es recomendable llevarlo a cabo al final de cada Unidad didáctica (media sesión sería suficiente). Como es lógico, el profesor habrá de tener

en cuenta algunas de las sugerencias de los estudiantes, si realmente quiere que éstos se sientan responsables del desarrollo del trabajo.

Veamos algunos **ejemplos de los instrumentos** citados:

En el *Cuadro 1* se recoge un posible esquema para que los alumnos y las alumnas analicen, al terminar una Unidad didáctica, el trabajo realizado durante el transcurso de la misma:

VALORACIÓN DEL DESARROLLO DE LA UNIDAD

GRUPO EVALUADOR: .....

FECHA:.....

A. Valoración de contenidos

¿Las actividades realizadas te han parecido: interesantes, divertidas, difíciles, etc.? ¿Se han entendido con claridad?

B. Reflexión sobre el trabajo en grupo

¿Trabajan y colaboran entre sí los componentes de cada grupo?

¿Qué opináis de las puestas en común?

Otros temas de interés

C. Valoración del profesor (¡esta es tu oportunidad!)

¿Escucha a los alumnos y las alumnas?

¿Impone frecuentemente sus criterios?

¿Se expresa con claridad?

¿Domina la materia?

¿Deja tiempo suficiente para las discusiones?

Otras cuestiones que consideres de interés....

D. Otras cuestiones

Cuadro 1

Otra posibilidad de involucrar a los estudiantes es pedirles que señalen, en un período aproximado de media sesión, qué aspectos consideran que van bien y cuáles van mal en la marcha del curso. En el *Cuadro 2* se incluye un resumen de los comentarios de dos de nuestros grupos de 2º de BUP. Se indica el número de veces que cada aspecto fue tenido en cuenta por los distintos grupos (sobre un total de 16).

INFORME DE LOS ALUMNOS Y LAS ALUMNAS SOBRE LA MARCHA DEL CURSO
(2ºA y 2ºB; N=60; 16 grupos)

Lo que va bien

- **El trabajo en grupo** 14

  Si alguien no lo entiende se lo explica a otro compañero, así lo entendemos todos.
  Aprendes a escuchar a los demás.

- **La forma de evaluar** 12

  Se tiene en cuenta el trabajo diario y no sólo el examen. Creemos que es más justo.

- **El modo de aprender** 7

  Se sacan las ideas por medio de ejercicios.
  Al trabajar en clase aprendes más, lo haces con mayor interés y llevas la materia al día.

- **Las clases son amenas** 5

  En esta clase no nos aburrimos.

- **La relación profesor alumno** 3

- **Los trabajos de laboratorio** 2

♥ *De todas formas tienes buena intención y eso es lo que cuenta.*

Cuadro 2

El profesor puede, mediante una transparencia, mostrar a los alumnos y las alumnas el resumen de sus sugerencias en la clase siguiente, lo que constituirá el punto de partida para el establecimiento de los acuerdos que se consideren oportunos.

Otra de las alternativas mencionadas es la realización de asambleas. Aquí, un grupo se encarga de su preparación, recogiendo previamente información del resto de sus compañeros y, posteriormente, coordinando la sesión.

El *Cuadro 3* refleja un fragmento del acta de una asamblea celebrada con estudiantes de 3º de BUP, al cabo de un mes y medio del inicio del curso.

ACTA DE LA ASAMBLEA REALIZADA CON FECHA 17-12-90

Temas que hay que tratar:

1. Valoración de los diferentes aspectos a evaluar.
2. Marcha general de la clase.
3. Grupos de trabajo. ¿Qué tal va la cosa? ¿Habría que ir pensando en algún cambio?

Propuestas:

- Punto 1

  — *Grupo 1: Creemos que cuando alguien sale a la pizarra, si le pregunta alguien que no entiende, está mal que se le baje la nota.*

  Se discute el tema. El profesor dice que tiene que entender su propuesta o la de su grupo y por tanto defenderla o explicarla al resto de la clase.

  Hay gente que no está de acuerdo, con todo se aprueba la propuesta (la del profe, claro).

  — *Los grupos 2 y 3 proponen algunas posibilidades para valorar los puntos que se van a evaluar:*

  Grupo 3: el examen 50%, el cuaderno 20%, el trabajo de clase y laboratorio 25% y el trabajo en casa el 5%.

  El grupo 2: Examen 60%, cuaderno 20%, trabajo en clase y laboratorio el 20%.

  — *El grupo 4 sugiere que cuenten los trabajos de revisión de libros o trabajos de varias semanas que se mandan para casa y que hay que hacer en grupo. También preguntan que qué pasa cuando una persona que entiende el ejercicio y sale a la pizarra no lo sabe explicar porque se pone nervioso.*

  Se discute la propuesta. Hay opiniones para todos los gustos. La solución final está entre la que propone el profesor y la de algunos grupos: es importante cómo lo explique, porque eso indica cómo lo entiende (eso dice el profesor) y habría que mirar sólo el cuaderno y cómo lo ha resuelto (ya sabéis quien). Se decide entre todos que se contarán los dos aspectos (¡ya veremos cuánto, que eso no se ha dicho!).

- Punto 2

  Todos los grupos dicen que los temas se entiende bien pero se deja poco tiempo para hacer las actividades en grupo. Se va muy rápido.

  El profesor dice que tratará de dejar algo más de tiempo, siempre y cuando se trabaje sobre el tema y nos olvidemos de charlar (¡de eso ya hablaremos!).

- Punto 3

  Todos los grupos están contentos de cómo se trabaja. Los grupos 2 y 3 dicen que los otros participan poco en las puestas en común (abucheo general) (¡estos listillos!).

  En general, que de cambiar grupos nada. El profesor indica que será necesario modificar algunos grupos que no funcionan bien.

Cuadro 3

En definitiva, se trata de anticiparse a la aparición de conflictos, de introducir pautas de funcionamiento democrático en el aula, y, en el caso de que surjan los problemas, de resolverlos de modo pacífico, mediante la discusión y el compromiso en los acuerdos (educación para la paz).

La perspectiva constructivista del aprendizaje de las ciencias

En cuanto al modo en que los alumnos y las alumnas aprenden las ciencias, en el plano individual, nos situamos dentro de la **perspectiva constructivista** (Coll, 1987; Driver, 1988). Esta visión, como ya se sabe, considera esencial partir las ideas de los y las estudiantes sobre los conceptos científicos que se van a enseñar. Una vez que aquéllos son conscientes de sus propias nociones, se plantean actividades de reestructuración con las que se persigue ampliar o, en su caso, modificar tales ideas hasta aproximarse, o dar forma, a los conceptos científicos.

Este modelo tiene uno de sus cimientos en la **teoría de la asimilación** de Ausubel (1976). Ésta se ocupa del aprendizaje que tiene lugar, mediante la instrucción, en un contexto educativo determinado. En particular, se interesa por el modo en que se aprenden los conceptos científicos —y aquí reside gran parte de su interés para el profesorado de esta área— que el niño ya ha formado en su vida cotidiana.

Ausubel insiste en la importancia que adquiere la organización del conocimiento en estructuras, ya que la nueva información se vincula a los aspectos relevantes y preexistentes de las mismas, modificándose en este proceso tanto la información recién adquirida como la estructura inicial. En efecto, la noción básica de la teoría de Ausubel, según Novak (1982), es el concepto de **aprendizaje significativo**, que se define como el proceso por el que los nuevos contenidos se relacionan con algún aspecto ya existente en la estructura cognitiva del individuo y que sea relevante para el material que se intenta aprender. En otras palabras, se produce aprendizaje significativo cuando el material nuevo adquiere significado para el estudiante debido a su puesta en relación —de manera sustancial, no arbitraria (no al pie de la letra)— con los conocimientos anteriores.

El concepto de aprendizaje significativo se utiliza en oposición al de aprendizaje memorístico. Novak ha resumido las características clave para la caracterización de ambos tipos. Así, las condiciones que el aprendizaje significativo exige son, en su opinión, las siguientes:

- Incorporación sustantiva, no arbitraria ni literal, de los nuevos conocimientos a la estructura cognitiva.
- Esfuerzo deliberado por enlazar la nueva información con los conceptos más inclusivos —los de mayor poder explicativo— de la estructura cognitiva.
- El aprendizaje está relacionado con las experiencias adquiridas a través de hechos u objetos.
- Existe el compromiso afectivo de relacionar los nuevos conocimientos con lo aprendido anteriormente.

Por el contrario, las condiciones del aprendizaje memorístico son:

- Incorporación arbitraria, literal y no sustantiva, de los nuevos conocimientos a la estructura cognitiva.

- Ausencia de esfuerzo para integrar la nueva información con los conocimientos existentes en la estructura cognitiva.
- El aprendizaje no se relaciona con la experiencia adquirida a través de hechos u objetos.
- No existe el compromiso afectivo de relacionar los nuevos conocimientos con lo aprendido anteriormente.

La desafortunada realidad, dice Novak (1991) *es que la mayor parte de la práctica instruccional en las escuelas aparta a los alumnos del aprendizaje significativo, empujándolos hacia una forma de aprendizaje esencialmente repetitiva*. Las circunstancias que favorecen la propensión al aprendizaje memorístico son sobre todo dos. Por un lado, que muchos alumnos y alumnas descubren que las respuestas que no tienen una correspondencia acusada con las explicaciones de clase no son admitidas por los profesores; y, por otro, que ante sucesivos fracasos al intentar comprender un tema determinado, se ven abocados a aprender de memoria los significados que les ayudarán a salvar la nota del examen.

En esencia, para que se produzca aprendizaje significativo se deben cumplir, según Ausubel, ciertas condiciones, unas referidas al material y otras al individuo que aprende.

En cuanto al material que se va a aprender es preciso:

- Que esté compuesto por elementos organizados en una estructura lógica, entendiendo por tal la necesidad de que el material no esté formado por una lista arbitraria de elementos yuxtapuestos. En relación a este factor, Ausubel señala que *en muy raras ocasiones faltará en las tareas de aprendizaje escolar, pues el contenido de la materia de estudio, casi por definición, tiene significado lógico*. Conviene advertir, sin embargo, que muchas veces estas conexiones no son lo bastante explícitas para los y las estudiantes.
- Que, en el caso de textos o discursos expositivos, la terminología y el vocabulario utilizados no sean excesivamente novedosos para los alumnos (Pozo, 1992).

En cuanto al sujeto que aprende es preciso:

- Que muestre una actitud positiva hacia el aprendizaje significativo. En palabras de Pozo (1989), dado que comprender requiere siempre un esfuerzo, la persona debe tener algún motivo para esforzarse.
- Por último, además de las condiciones anteriores, es preciso que la estructura cognitiva de los alumnos contenga ideas inclusoras con las que pueda ser relacionado el nuevo material. *Siempre que una persona intenta comprender algo, necesita activar una idea o conocimiento previo que le sirva para organizar esa situación y darle sentido* (Pozo, 1992).

Ausubel suponía, en principio, que la mayor parte de los aprendizajes son subordinados, es decir, que la nueva idea se apoya en conocimientos anteriores más estables y de carácter más genérico. Su importancia estriba en que, si no existiese, el nuevo contenido tendría que ser aprendido en el vacío, mecánicamente, o sea, de memoria. Cuando se programa una asignatura partiendo de este principio, las ideas o conceptos más genéricos se presentan al principio y se van incluyendo progresivamente los conceptos más particulares.

En cierta medida, la Unidad didáctica sobre la energía pretende seguir un esquema de esta clase, al proponer, en primer lugar, una caracterización del concepto más general e inclusivo, el de energía, para, a continuación, desarrollar las nociones de calor y trabajo relacionados con aquél.

El problema está en explicar cómo surgen los conceptos inclusores, más generales, de los que se van diferenciando los demás. Si sólo se produjera la diferenciación (Pozo, 1989), estaríamos una vez más dentro de la paradoja del aprendizaje, porque si el aprendizaje significativo requiere la exis-

tencia de conceptos relevantes (inclusores) en la estructura cognitiva, ¿de dónde surgen estos conceptos? y ¿cómo se inicia el proceso? También admite Ausubel **el aprendizaje supraordenado.** Aquí el nuevo contenido es capaz de integrar varios conceptos previamente aprendidos. Es justamente el proceso inverso al anterior. El aprendizaje supraordenado se produce cuando conceptos aprendidos anteriormente se integran como elementos de un concepto más amplio. En este caso, las ideas existentes son más específicas que la idea que se intenta adquirir. Por fin, Ausubel admite también **el aprendizaje combinatorio**, en el que la nueva idea no es más inclusiva ni específica que las ideas previas.

La importancia atribuida a los conocimientos previos de los y las estudiantes ha favorecido el desarrollo de una de las líneas de investigación, en la didáctica de las ciencias, más fecundas de los últimos años. Bajo el término de *constructivistas* se puede encuadrar a un grupo relativamente heterogéneo que empezó a tomar cuerpo, según Jiménez (1989), a finales de los setenta y principios de los ochenta. La mayoría de los representantes de esta perspectiva, como Driver, Giordan, Hewson, etc., asumen que los alumnos poseen sus propias ideas —teorías— sobre muchos fenómenos naturales y que éstas no se corresponden, en general, con las concepciones científicas. La aceptación de esta premisa ha dado lugar a la búsqueda de nuevas formas de enseñar y al diseño de actividades que posibiliten que dichas nociones se desarrollen o cambien.

La mayoría de los trabajos coinciden en señalar una serie de características generales de los conocimientos previos de los alumnos y las alumnas, que Pozo (1992) resume así:

- *Poseen coherencia desde el punto de vista del alumno, no desde el científico.*
- *Son construcciones personales de los alumnos, elaboradas de modo más o menos espontáneo en su interacción cotidiana con el mundo.*
- *Son bastante estables y resistentes al cambio.*
- *Son compartidas por otras personas, pudiéndose agrupar en tipologías.*
- *Buscan más la utilidad que la «verdad».*
- *Tienen un carácter implícito, ya que se descubren en las actividades o predicciones de los alumnos (son, pues, «teorías en acción»).*

Esta caracterización de las ideas previas permite entender que los alumnos, al igual que los adultos, tienen sus propias formas de representación de la realidad, las cuales les permiten dirigir la atención hacia ciertos aspectos y alejarse de otros. En palabras de Claxton (1987), vivimos con y a través de una teoría sobre nosotros mismos en el mundo, y todo lo que hacemos, vemos, sabemos y sentimos es fruto de dicha teoría. Incluso cuando ésta parece tan fina como una tela de araña, sigue existiendo y no hay manera de levantar el velo o de mirar a hurtadillas alrededor de él.

Las concepciones de los estudiantes deben ser entendidas, por tanto, como otra forma de interpretar los fenómenos. Y aunque se juzgara equivocada, es importante conocer dicha interpretación para ayudarles a elaborar nuevas concepciones. Como señala Moreno (1986), *la Epistemología Genética ha insistido mucho en la importancia del error en la construcción intelectual, hasta el punto que hemos llegado a la evidencia de que los errores son necesarios porque constituyen los eslabones que permiten llegar a nuevos conocimientos.*

La fecundidad de la línea de investigación abierta a raíz del análisis de los conocimientos previos está asociada, sobre todo, a la elaboración de algunos modelos de aprendizaje. Entre ellos, en lo sucesivo nos ocuparemos del que se ha dado en llamar **modelo de aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual.**

Este modelo fue expuesto por primera vez en varios trabajos aparecidos a comienzos de los años ochenta (Hewson, 1981; Posner, Strike, Hewson y Gertzog —de ahí la denominación de modelo

PSHG—, 1982; Osborne y Freyberg, 1985). El modelo de cambio conceptual posee dos componentes principales: las *condiciones* necesarias para que una persona reemplace su concepción inicial por otra nueva, y la *ecología conceptual* del sujeto, que proporciona el contexto en el que el cambio se produce y tiene significado (Hewson y Thorley, 1989).

En cuanto a las primeras, las condiciones, se aplican tanto a las concepciones que el alumno sostiene como a las que está considerando. Un punto crítico radica en que es el propio estudiante quien necesita decidir, implícita o explícitamente, si sus concepciones satisfacen o no tales requisitos. Las tres primeras condiciones son:

- La concepción nueva ha de ser mínimamente *inteligible*. Esto requiere dos elementos: primero, que el alumno conozca y comprenda los términos, símbolos y el modo de expresión utilizado. Segundo, que sea capaz de dar un significado global a la información, relacionando la idea previa con la nueva.
- La idea nueva, además, debe llegar a ser *verosímil*, es decir, reconciliable con los restantes conocimientos del alumno, aunque contradiga sus nociones iniciales.
- La nueva concepción ha de ser *útil*, fructífera, esto es, debe poder explicar las anomalías encontradas y ampliar el campo de conocimientos del estudiante.

La extensión en que la concepción satisface estas tres condiciones se denomina *status* de la noción. Expresado en estos términos, el modelo de cambio conceptual está relacionado con el cambio, aumento o disminución en el status de las concepciones.

La cuarta condición se halla directamente ligada a dicho cambio de status:

- La nueva concepción ha de ser una fuente de insatisfacción para el alumno.

Una persona llega a estar *insatisfecha* con una de sus concepciones previas que posea, por ejemplo, un alto status, cuando ésta pierde verosimilitud o utilidad, o ambas a la vez.

Este modelo, sin embargo, debe ser matizado, ya que parte de la premisa de que la concepción inicial y la nueva —la que se pretende enseñar— son incompatibles cuando, en realidad, hay muchos casos en los que las ideas de los estudiantes no son erróneas, sino limitadas, por lo que bastaría con desarrollarlas hasta llegar a ser coherentes con la *ciencia escolar* (conviene subrayar que lo que se enseña en clase no siempre coincide exactamente con la idea «aceptada por la ciencia», ya sea por las necesarias simplificaciones o por la obligación de recoger los aspectos más consensuados y no los problemáticos. De ahí que el nombre que recibe esta «versión» sea el de ciencia escolar).

Por esta razón, Hewson propone ampliar el modelo de cambio conceptual al caso en que la idea alternativa y la nueva no sean irreconciliables. Según esto, el aprendizaje significativo, a partir de las concepciones previas de los estudiantes, se puede producir de dos formas (Hewson y Thorley, 1989; Jiménez, 1991):

- Por medio de estrategias de intercambio, cuando las concepciones alternativas y las nuevas son irreconciliables. Si no se utilizan estas estrategias permanecerá la idea alternativa.
- Por medio de estrategias de integración, es decir, diferenciación, extensión o ampliación de las ideas iniciales.

Esto supone una reconciliación entre la noción antigua y la nueva (por integración de ambas o debido a la inclusión de la primera en la segunda), que se denomina captura conceptual, lo que implica que hay relaciones significativas entre ambas ideas, que pueden ser consistentes, que no se contradicen.

La matización que se acaba de resumir permite adaptar el modelo PSHG a la etapa obligatoria, ya que parece claro, a nuestro entender, que en ella las alumnas y los alumnos deberían, más que

asimilar los conceptos científicos de forma rigurosa, desarrollar sus propias nociones de manera que lleguen a ser ciudadanos capaces, por ejemplo, de comprender la información científica, al menos al nivel de la divulgación habitual.

La perspectiva constructivista puede dar lugar —aunque algunos autores, como Millar (1989), se resisten a admitirlo— a fuertes implicaciones metodológicas. En particular, las estrategias de enseñanza y aprendizaje que se derivan de este modelo son las propuestas, entre otros, por Osborne y Freyberg (1985), por Driver (1988) o por Hodson (1988). En líneas generales, lo que se sugiere es una nueva forma de diseñar programas de aprendizaje, según la cual, la enseñanza se estructura en torno a secuencias de actividades. Así, por ejemplo, Driver concibe un esquema organizado en cinco fases:

1. Orientación y motivación

El trabajo en el aula se inicia con una sesión de orientación, destinada a motivar a los y las estudiantes hacia el tema. En otras palabras, se trata de despertar su atención e interés por los contenidos que se van a estudiar. Para ello se puede recurrir al planteamiento, entre otras, de actividades como las siguientes: comentarios de noticias de prensa acerca de hechos tecnológicos destacados, o sobre problemas ecológicos, sociales y económicos relevantes; formulación de preguntas de choque, sorprendentes, etc.

2. Exploración y explicitación de los conocimientos previos de los y las estudiantes

A continuación, deben darse a los alumnos y las alumnas oportunidades para que exploren y pongan de manifiesto sus ideas sobre los contenidos incluidos en la Unidad. Esto requiere, como ya se ha dicho, un clima de aula distendido, en el que aquéllos no tengan temor a equivocarse.

Las actividades que cabe plantear en esta etapa son diversas: desde los cuestionarios —para cuya elaboración es imprescindible consultar la bibliografía existente— hasta los debates sobre la vida real, pasando por la elaboración de posters, etc.

3. Desarrollo y evolución —o reestructuración— de las ideas de los alumnos y las alumnas

Esta fase supone trabajar sobre los conocimientos de los y las estudiantes, para generalizarlos o, en su caso, ser puestos en cuestión con el fin de modificarlos. Es el momento, pues, de introducir los nuevos conceptos, leyes y teorías.

La mayor parte de las actividades de cualquier Unidad pertenecen a este apartado. En lo que sigue, se enumeran algunas de los tipos más corrientes, aunque esta lista no implica que todos ellos hayan de figurar en una sola Unidad didáctica.

- Actividades de contraste de las ideas de los alumnos y las alumnas. Contraejemplos y anomalías.
- Actividades en las que los estudiantes tengan la oportunidad de investigar (en el sentido más amplio) y, en su caso, de formular hipótesis, diseñar experimentos, llevarlos a cabo y analizar cuidadosamente los resultados. Una clasificación de los procedimientos científicos involucrados en una investigación puede verse en Hodson y Brewster (1985).
- Actividades que favorezcan la discusión sobre algunos conceptos científicos.
- Construcción y presentación de modelos sencillos y, en última instancia, de las ulteriores teorías.
- Lectura y comentarios de textos científicos, en ocasiones históricos, cuyo lenguaje sea comprensible por parte de los y las estudiantes.

- Actividades que permitan apreciar la unidad estructural de la ciencia.
- Actividades que tengan en cuenta sus intereses y desarrollen las actitudes científicas de los alumnos y las alumnas.
- Actividades en las que puedan apreciarse las limitaciones de la ciencia, así como sus implicaciones sociales y morales.

4. Aplicación

Una vez introducidos los nuevos conceptos, leyes y teorías, llega el momento de que los estudiantes usen las nuevas ideas en diferentes contextos y situaciones.

Estas actividades, de transferencia de los conocimientos adquiridos a situaciones originales, pueden servir para tener la constancia de que el aprendizaje se ha producido. Además, su realización puede ser gratificante para el alumno, ya que así toma conciencia de la funcionalidad del conocimiento científico.

Entre los diversos ejemplos de actividades que se pueden proponer destacamos las siguientes:

- Actividades de resolución de problemas.
- Actividades de diseño y realización de otras investigaciones.
- Actividades de lectura y comentario de noticias relacionadas con el tema de trabajo.

5. Revisión y síntesis

En esta fase se pretenden dos objetivos. De un lado, favorecer en los y las estudiantes la toma de conciencia sobre los conocimientos adquiridos y el establecimiento de las relaciones entre los distintos conceptos estudiados; en otras palabras, se trata de ayudarles a ser conscientes del hilo conductor de la Unidad didáctica. De otro lado, que los alumnos y las alumnas se percaten de su propio aprendizaje. Esto constituye uno de los aspectos más automotivadores para seguir aprendiendo.

El hecho de organizar y comunicar aquello que se ha aprendido obliga a darle forma y coherencia, posibilitando su consolidación. Por ello hemos considerado interesante incluir algunas actividades de síntesis, de elaboración de informes y de reformulación de conceptos.

El proceso en cinco etapas que se acaba de resumir, como indica Jiménez (1989), resulta bastante complejo, y cabe señalar que, en muchas ocasiones, los estudiantes, puestos en las situación de optar entre sus ideas preconcebidas y la evidencia de la realidad, eligen mantener inalteradas sus concepciones. Algunos de los factores que influyen en el cambio son las convicciones epistemológicas suscritas por los estudiantes, sobre la generalización o sobre la consistencia interna, de forma que si el estudiante no cree necesario que sus ideas sobre los distintos aspectos de un concepto científico sean coherentes, no tiene por qué sentir tampoco la necesidad de cambiar todas o parte de ellas.

Por otro lado, y aunque haya una fase específica dedicada a la explicitación de las ideas previas, nosotros acostumbramos a pedir a nuestros alumnos y alumnas que escriban en el cuaderno, para todas las actividades, las conclusiones a las que han llegado durante la discusión en su grupo. Hecho esto, se pasa a la puesta en común, de la que es posible que se deriven otras consecuencias, que habrán de anotarse también en el cuaderno. Se persigue así que los y las estudiantes sean conscientes de la importancia de lo que ya saben para su propio aprendizaje. Además, la *obligación* de escribir los dos conjuntos de conclusiones permite que los conocimientos previos permanezcan activados y que éstos y los nuevos puedan ser contrastados en cualquier momento. Este contraste es un requisito del aprendizaje significativo y abre la puerta para que el alumno pueda ver las limitaciones del conocimiento cotidiano y la potencialidad del conocimiento científico.

El enfoque Ciencia–Tecnología–Sociedad

Durante los años 60 y 70 se llevaron a cabo, en numerosos países, verdaderos esfuerzos para reformar el currículo de las ciencias. La mayoría de estos intentos tomaba como punto de partida la estructura de la disciplina —contenidos y procesos—. Los resultados de su evaluación fueron, sin embargo, poco alentadores: el esperado aprendizaje no se producía —algo que a muchos profesores y profesoras les cuesta asumir— y la motivación y la inclinación hacia las ciencias tampoco mejoraba (Gutiérrez, Marco, Olivares y Serrano, 1990). De hecho, el movimiento «Ciencia para todos» (Fensham, 1985) señala, como recoge Marco (1987), que no se ha logrado una formación científica efectiva en las escuelas para el 80% de la población escolar, el cual no seguirá posteriormente ninguna formación científica formal una vez que deje la escuela.

El análisis de este fracaso ha dado lugar en parte a que hayan surgido, en los años 80, nuevas orientaciones sobre lo que la educación científica tiene que llegar a ser. Aunque existen excelentes proyectos para la educación secundaria no obligatoria, como el SATIS 16–19, otros muchos están centrados, y de ahí su interés, en el nivel educativo que nos ocupa: la Educación Secundaria Obligatoria, esto es, la que está dirigida al conjunto de la población comprendida entre los 12 y los 16 años.

En líneas generales, dos alternativas destacan por encima del resto. De un lado, la que pretende una reforma de los contenidos, de modo que éstos estén más próximos a la vida y a los intereses de los estudiantes. Esta es la propuesta que se denomina **enfoque C–T–S** (Solomon, 1988), cuyo objetivo principal reside en formar a los alumnos y las alumnas en la responsabilidad social y en la toma de decisiones con base científica.

Por otra parte, cabe citar la que impulsa un cambio de óptica en la enseñanza científica, en el sentido de evitar las superespecializaciones y la excesiva abstracción (propias, por ejemplo, del actual sistema de educación español). Esta alternativa configura el llamado **movimiento de alfabetización científica** (Bybee y otros, 1991), cuya finalidad esencial radica en la formación de ciudadanos que entiendan, a nivel divulgativo, el mundo científico–técnico en el que viven.

Se intenta, entre otras cosas, acabar con la visión restringida de la ciencia que se presenta en las aulas. Como señala Yager (1986), *es importante para los diseñadores interesados en un currículum de ciencias cualificado tener en cuenta una visión de la Ciencia en su perspectiva histórica, una comprensión de la filosofía de la Ciencia, experiencias de interacción Ciencia–Sociedad, las aplicaciones de la Ciencia (Tecnología) y la sociología de la Ciencia.*

Estas dos aproximaciones a una nueva enseñanza de las ciencias imponen, en principio, una selección de los contenidos que sea coherente con los fines que persiguen. Fensham, por ejemplo, aboga por incluir aspectos de la ciencia que los estudiantes pueden aplicar a su propia vida sin necesidad de que transcurra mucho tiempo, así como por ciertos fenómenos naturales que posibilitan al alumno descubrir el atractivo, la novedad y el valor del descubrimiento científico.

En cuanto a la incorporación de tales tendencias nos parece muy interesante, por ejemplo, la sugerencia de Solbes y Vilches (1992), consistente en introducir en las diferentes unidades didácti-

cas algunas actividades —ellos hablan de un 10% ó 15%— que muestren las relaciones C-T-S. Esto, además de un posible aumento en la motivación de los y las estudiantes, les proporciona una visión más ajustada de la ciencia como construcción humana, sujeta, a la vez que influenciando, a las condiciones de la cultura y la sociedad en las que se desarrolla.

Según los autores citados, *la utilización de las actividades C-T-S en el aprendizaje de la física y la química, dentro del nuevo modelo constructivista de la enseñanza, incorporados al hilo conductor de cada tema, creemos que puede y debe contribuir a mejorar la actitud de los alumnos hacia la ciencia, sustituir el desinterés por el estudio de la misma, y reconocer que el estudio de la ciencia debe contribuir a su formación como futuros ciudadanos, preparándolos para tomar decisiones, realizar valoraciones críticas, etc.*

En los contenidos de los bloques que se prescriben para el 4º curso de la Enseñanza Secundaria Obligatoria es factible encontrar temas sociales con una base científica claramente manifiesta. Citaremos el caso de las fuentes de energía, que, como veremos en la Unidad didáctica que más adelante se recoge, puede dar lugar a interesantes debates en los que se analicen los requerimientos económicos, la concentración del poder, los problemas ambientales, etc.

Como ya se ha dicho, orientar el currículo hacia el enfoque C-T-S puede ayudar a las alumnas y a los alumnos a comprender mejor la naturaleza de la ciencia. Ziman (1986), por ejemplo, ha destacado que *muchos niños y universitarios estarían más preparados para sus vidas si se les hubiera enseñado menos Ciencia como tal y un poco más sobre la Ciencia.* Pero sobre este último aspecto también se han hecho esfuerzos que provienen de otras líneas de investigación.

Así, consideramos interesante la idea de que algunos de los errores que cometen los alumnos (e incluso los profesores) pueden tener su origen en la denominada **metodología de la superficialidad** (es decir, la tendencia a extraer conclusiones precipitadas, realizar generalizaciones acríticas basándose en observaciones meramente cualitativas, efectuar análisis superficiales, aplicar fórmulas sin comprender su significado, etc.) (Gil, 1987). En consecuencia, una correcta adquisición de los conocimientos científicos requeriría un enfoque de enseñanza coherente con la **metodología científica** (Hodson, 1986), que superara las estrategias de asimilación «naturales».

Sin embargo, nuestra experiencia nos indica que plantear problemas, emitir hipótesis, diseñar experimentos y analizar cuidadosamente los resultados, no es una tarea fácil ni accesible para todos los alumnos de esta etapa. Como, por otra parte, la propuesta que presentamos está más cerca de la **ciencia para todos** que de la **ciencia de los científicos**, creemos preferible que los estudiantes puedan abordar los problemas de una forma más libre y espontánea, que tenga en cuenta el valor pedagógico del error y que despierte y apoye su curiosidad. En algunas ocasiones, no obstante, se podrán plantear experiencias más próximas a la verdadera investigación dirigida, siempre y cuando se trate de temas y desarrollos sencillos. Sin olvidar que se deben dar oportunidades, sobre todo a los alumnos más capaces, para que *se enfrenten a los problemas de forma más crítica y rigurosa, imaginando nuevas posibilidades a título de hipótesis y sometiendo dichas hipótesis a contrastación en condiciones controladas* (Gil, 1987).

Proporcionar una visión más global y acertada de la Ciencia va a requerir, por lo tanto, ir un poco más allá del simple hecho de situar a los alumnos y las alumnas en condiciones de hacer ciencia (Hodson, 1992), esto es, de que adquieran los conocimientos y las capacidades necesarias para investigar, ya sea de forma autónoma o de forma colectiva y guiada. Aunque como dicen Albaladejo y Grau (1992), *el análisis de las investigaciones, de su diseño... permite aproximarnos a la comprensión de la naturaleza de la ciencia*, en nuestra opinión, es difícil que sólo mediante el uso de los procedimientos se puede llegar a tal comprensión. Si queremos que las alumnas y los alumnos tengan una imagen más real de la ciencia, de cómo trabajan los científicos, de la «causalidad o accidentalidad» de sus descubrimientos, de las influencias mutuas entre los científicos y los tecnólogos, de las conexiones entre los avances científicos, sus aplicaciones y connotaciones sociales, del

carácter creativo y de los aspectos afectivos y éticos del trabajo científico, parece oportuno referirse, además de al mencionado enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad, al papel que la historia de la ciencia puede jugar en la enseñanza de nuestra disciplina.

Dejando a un lado las simples referencias biográficas o ilustrativas, la historia de la ciencia ha desempeñado en nuestro país la función de contribuir a que los conocimientos se estructuren en cuerpos coherentes que puedan sustituir de un modo global la imagen que los estudiantes tienen en este campo. Estamos hablando de la tan cacareada necesidad de que exista en el desarrollo de las unidades didácticas un hilo conductor claro, que sirva de verdadero «organizador de avance».

No dudamos de la necesidad de que el profesorado tenga en cuenta dicha estructuración al diseñar el currículo para una etapa educativa concreta, e incluso a más largo plazo, lo que queremos significar, basándonos en nuestra práctica al incluir la historia de la ciencia en el aula, es el hecho de que para la mayoría de los alumnos y las alumnas supone un verdadero problema encontrar el sentido profundo de tal coherencia. ¿Qué podremos hacer entonces cuando en cada clase haya una muestra representativa de todo el conjunto de la población de 16 años?

Creemos que en estas circunstancias, el objetivo más inmediato y explícito de la utilización de la historia de la ciencia debe residir en ayudar a los alumnos y las alumnas a comprender mejor las cuestiones citadas con anterioridad. Así, el comentario de textos bien seleccionados y asequibles, integrados en el discurso lógico de la historia, debe contribuir, sin duda, al logro de semejante finalidad. Se trata, de nuevo, de adaptar el *currículum* hacia la alfabetización científica de las personas, en lugar de proceder a su especialización temprana (que ha llevado, tradicionalmente, al rechazo de un gran número de estudiantes por los temas científicos).

Por otra parte, normalmente se insiste en el escaso número de mujeres que optan por las ingenierías y, en general, por las carreras técnicas. Pues bien, diversos autores (Solomon, 1988) han señalado la virtualidad del enfoque C-T-S para promover una enseñanza de las ciencias dirigida por igual a ambos sexos y para favorecer la igualdad de oportunidades en el área (coeducación). Al parecer, la respuesta de las chicas es más positiva cuando el currículo se orienta hacia los aspectos más aplicados, de mayor relevancia para las personas y la sociedad.

La evaluación

Después de lo que se ha dicho hasta el momento acerca del proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, la mayoría de los lectores estarán de acuerdo en que carece de sentido mantener el concepto restringido de evaluación que domina en nuestro contexto: el referido a la simple calificación del alumno o la alumna de modo cuantitativo, que sirve únicamente para determinar si éste ha de promocionar o no dentro del sistema educativo. A continuación, se resumen brevemente una serie de principios que pueden ayudarnos a reconceptualizar esta noción. Quienes deseen profundizar en el tema —modelos, técnicas de evaluación, etc.—tienen la posibilidad de consultar nuestra propuesta integral de evaluación en ciencias (Rodríguez, Gutiérrez y Molledo, 1992).

1. La evaluación ha de estar integrada en el proceso de enseñanza y aprendizaje y, por ende, debe servir para modificar aspectos relacionados con el mismo. Queda ya lejos la idea de que primero se enseña y luego se comprueba lo que se ha aprendido. Se trata, ahora, de analizar todo el proceso desde el principio hasta el final, utilizando toda la información obtenida para retroalimentar continuamente su desarrollo.

2. El alumno debe participar en la actividad evaluatoria al menos en dos sentidos:

   - Ha de poder percibir los avances en su propio aprendizaje. Para ello hay que darle, en la secuencia de actividades, la oportunidad de reconocer sus propias ideas —evaluación inicial— y de observar cómo cambian y qué progresos ha realizado —evaluación formativa—.

   - Ha de poder participar, como ya se ha dicho, en las tareas de valoración de la marcha general del curso, de manera que sus aportaciones sean tenidas en cuenta e influyan en el transcurso del mismo.

3. Así pues, una evaluación integrada en el proceso de enseñanza y aprendizaje, y concebida como un instrumento de ayuda pedagógica, nos obliga a considerar, además de la obligada valoración final —evaluación sumativa—, otros momentos en los que ejercerla.

   La evaluación inicial pretende, de acuerdo con una perspectiva constructivista del aprendizaje, recoger datos sobre los conocimientos previos y los errores conceptuales de los alumnos y las alumnas, información básica para el profesor a la hora de programar y para el alumno de cara al aprendizaje.

   La evaluación formativa debería ser la base del proceso evaluador. Su finalidad no es la de controlar y puntuar a los y las estudiantes sino la de ayudarles pedagógicamente a progresar en los conocimientos, en la instrucción que se les imparte. Implica para el profesor —y para los alumnos— una tarea de ajuste constante para irse adecuando al desarrollo de los alumnos y para establecer nuevas pautas de actuación en relación con los resultados obtenidos en el aprendizaje (Hernández y Sancho, 1989).

4. Las tres modalidades de evaluación anterior han de aplicarse no sólo al dominio cognitivo, como acostumbra a hacerse hoy en día, sino, además, a los dominios psicomotor —referido a los procedimientos— y afectivo-social —relativo a las actitudes y a las interacciones—.

5. La evaluación no ha de centrarse exclusivamente en el alumno. Habrá de abarcar otros elementos cuya consideración es determinante a la hora de alcanzar el «éxito» en nuestro trabajo. A modo de ejemplo cabe citar los siguientes:

   - Al profesor, su estilo personal, etc.
   - El método o enfoque de enseñanza que utilice.
   - El ambiente que haya en el aula y las interacciones que en ella se produzcan.
   - La propia programación y los materiales curriculares que se empleen.

6. Los puntos anteriores exigen, por último, la utilización de técnicas variadas y flexibles. Asimismo, parece evidente que este trabajo ha de ser llevado adelante por el equipo de profesores (departamento). Los miembros de este grupo deberían establecer criterios comunes de evaluación, respetando, de algún modo, la autonomía individual, con el propósito de que las relaciones entre cada profesor y sus alumnos no se vean comprometidas.

Ya para terminar, reseñaremos algunas de las relaciones existentes entre la evaluación y los aspectos motivacionales. Ya hemos dicho que el aprendizaje requiere un esfuerzo. Para llevarlo a cabo se necesitan motivos. El juego de motivos, sin embargo, no es aleatorio. De acuerdo con la teoría cognitiva de la atribución, cuando una persona se enfrenta a un problema y fracasa, se pueden dar las siguientes situaciones (que se caracterizan con algunos ejemplos habituales):

	MOTIVO ESTABLE	**MOTIVO INESTABLE**
MOTIVO EXTERNO	*La Física es un rollo*	*Había mucho ruido*
MOTIVO INTERNO	*Las Matemáticas se me dan mal*	*Estaba cansado*

Un alumno que, verbigracia, suspenda sistemáticamente y lo achaque a un motivo estable e interno, es probable que, en cuanto vuelva a ser evaluado, se «estrelle» de nuevo. El punto crítico, pues, no está únicamente en que haya fracaso, sino en saber a qué lo atribuye el estudiante. Lo que se nos sugiere a los profesores es que, dado que los alumnos suelen asumir las justificaciones que nosotros les proporcionamos, procuremos que éstos tengan un estilo atributivo más sano, que contribuya a aumentar sus expectativas de éxito (Rogers, 1982). Se trata, en definitiva, de que el o la estudiante perciba que su éxito o fracaso depende de lo que él haga. Por ello, hay que proporcionarle, mediante la evaluación, un cierto control —información— sobre su rendimiento, localizando las dificultades de aprendizaje y negociando posibles soluciones a las mismas.

En esta línea nos parecen muy interesantes los principios que Alonso Tapia (1991) propone para la organización motivacional de la instrucción. Transcribimos, a continuación, el relacionado con la evaluación.

«Dado que las evaluaciones son inevitables y necesarias, sería recomendable organizar las evaluaciones a lo largo del curso de forma que:

a) *Los alumnos las consideren como una ocasión para aprender.*

b) *Se evite, en la medida de los posible, la comparación de unos con otros y se acentúe la comparación con uno mismo, de forma que se maximice la constatación de los avances. Para ello pueden utilizarse las siguientes estrategias:*

1. *Diseñar las evaluaciones de forma que nos permitan saber no sólo si el alumno sabe o no algo, sino, en caso negativo, por qué.*
2. *En la medida de lo posible, evitar dar notas —información cuantitativa— y dar en su lugar información cualitativa relativa a lo que el alumno necesita corregir y aprender.*
3. *En la medida de lo posible, acompañar la comunicación de los resultados con los mensajes pertinentes para optimizar la confianza del alumno en sus posibilidades.*
4. *En cualquier caso, no dar públicamente la información sobre la evaluación.»*

	MOTIVO ESTABLE	MOTIVO INESTABLE
MOTIVO EXTERNO	*La física es un rollo*	*Había mucho ruido*
MOTIVO INTERNO	*Las Matemáticas se me dan mal*	*Estaba cansado*

Bibliografía

ALBALADEJO, C. y GRAU, R. «Los procedimientos en las ciencias naturales». *Aula, 3*. pp. 24-27, 1992.

ALONSO TAPIA, J. *Motivación y aprendizaje en el aula*. Santillana. Madrid, 1991.

AUSUBEL, D. P. *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México. Trillas, 1976.

BYBEE, R.W. y otros. «Integrating the history and nature of science and technology in science and social studies currículum». *Science Education*, 75(1),1991.

CLAXTON, G. *Vivir y aprender*. Madrid. Alianza, 1987.

CHILDREN'S LEARNING IN SCIENCE PROJECT (C.L.I.S.P.). *Approaches to teaching energy*. Leeds. CSSME.

COLL, C. «Estructura grupal, interacción entre alumnos y aprendizaje escolar». *Infancia y Aprendizaje*. 27/28. pp. 119-138, 1984.

COLL, C. *Psicología y currículum*. Barcelona. Laia, 1987.

DRIVER, R. «Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias». *Enseñanza de las Ciencias*. 6(2). pp. 109-120, 1988.

FENSHAM, P. J. «Science for all: a reflective essay». *Journal of Currículum Studies*. 17(4). pp. 415-435, 1985.

FORMAN, E. A. y CAZDEN, C. B. «Perspectivas vygotskianas en la educación: el valor cognitivo de la interacción entre iguales». *Infancia y Aprendizaje*. 27/28. pp. 139-157, 1984.

GIL, D. «Los errores conceptuales como origen de un nuevo modelo didáctico: de la búsqueda a la investigación». *Investigación en la Escuela. 1*. pp. 35-41, 1987.

GLEICK, J. *Caos. La creación de una ciencia*. Barcelona. Seix Barral, 1988.

GUTIÉRREZ, R. MARCO, B., OLIVARES, E. y SERRANO, T., *Enseñanza de las ciencias en la educación intermedia*. Madrid. Rialp, 1990.

HERNÁNDEZ, F. y SANCHO, J. M.ª. *Para enseñar no basta con saber la asignatura*. Barcelona. Laia, 1989.

HEWSON, P., «A conceptual change approach to learning science». *European Journal of Science Education*. 3(4). pp. 383-396, 1981.

HEWSON, P. y THORLEY, N. R. «The conditions of conceptual change in the classroom». *International Journal of Science Education*. 11. pp. 541-553, 1989.

HODSON, D. «Philosophy of Science and Science Education». *Journal of Philosophy Education*, 1986.

HODSON, D. «Redefining and reorienting practical work in scholl science». *School Science Review*. 70. pp. 33-40, 1992.

HODSON, D. y BREWSTER, J. «Toward science profiles». *School Science Review*. 68. pp. 231-240, 1985.

JIMÉNEZ, M.ª P. *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual* (Tesis doctoral: Madrid), 1989.

JIMÉNEZ, M.ª P. «Cambiando las ideas sobre el cambio biológico». *Enseñanza de las Ciencias*. 9(3). pp. 248-256, 1991.

JOHNSON, D. W. «Student-student interaction: the neglected variable in education». *Educational Researcher*. 10. pp. 5-10, 1981.

MARCO, B. «Las ciencias y el currículum escolar». En MARCO, B. y otras. *La enseñanza de las ciencias experimentales*. Madrid. Narcea, 1987.

MILLAR, R. «Constructive criticisms». *International Journal of Science Education*. 11. 587-596, 1989.

MORENO, M. *La pedagogía operatoria*. Barcelona. Laia, 1986.

MUGNY, G. y DOISE, W. *La construcción social de la inteligencia.* México. Trillas, 1983.

NOVAK, J. D. *Teoría y práctica de la educación*. Madrid. Alianza, 1982.

NOVAK, J. D. «Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender. La opinión de un profesor investigador». *Enseñanza de las Ciencias.* 9(3). pp. 215-228, 1991.

OSBORNE, R. y FREYBERG, P. *Learning in Science.* Hong Kong. Heinemann, 1983.

OVEJERO, A. *El aprendizaje cooperativo. Una alternativa eficaz a la enseñanza tradicional*. Barcelona. P. P. U., 1990.

PERRET-CLERMONT, A. N. *La construcción de la inteligencia en la interacción social*. Madrid. Visor, 1984.

PIAGET, J. *L'equilibration des structures cognitives*. Paris. P. U. F., 1975.

PIAGET, J. *La teoría de Piaget, Infancia y Aprendizaje. Monografía 2*. Piaget. pp. 13-54, 1981.

POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. y GERTZOG, W. «Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change». *Science Education*. 66(2). pp. 221-227, 1982.

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

POZO, J. I. *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid. Morata, 1989.

POZO, J. I. «El aprendizaje de hechos y conceptos». En COLL, C. y otros. *Los contenidos de la Reforma*. Madrid. Santillana, 1992.

RIVIERE, A. *La psicología de Vygotski*. Madrid. Visor, 1985.

ROGERS, C. *Psicología social de la enseñanza*. Madrid. Visor\MEC, 1982.

SANTOS REGO, M. A. «La controversia constructiva en el trabajo escolar». *Educación y Sociedad*. 9. pp. 119-139, 1990.

SOLBES, J. y VILCHES, A. «El modelo constructivista y las relaciones Ciencia\Técnica\Sociedad (CTS)». *Enseñanza de las Ciencias*. 10(2). pp. 181-186, 1992.

SOLOMON, J. «The dilemma of Science, Technology and Society Education». En FENSHAM, P. J. (ed.). *Development and dilemmas in Science Education*. London. Falmer Press, 1988.

WEBB, N. M. «Interacción entre estudiantes y aprendizaje en grupos pequeños». *Infancia y aprendizaje*. 27\28. pp. 159-183, 1984.

WOODS, P. *La escuela por dentro. La etnografía en la investigación educativa*. Barcelona. Paidós/MEC, 1987.

YAGER, R. E. «Features of a quality currículum for school science». *Journal of Currículum Studies*. 18(2). pp. 133-146, 1986.

ZIMAN, J. «Science Education - for whom». En *Science in Schools*. London. Open University Press, 1986.

Primera Unidad didáctica:
La energía: pasado, presente y futuro

Primera Unidad didáctica: La energía: pasado, presente y futuro

Primera Unidad didáctica:
La energía: pasado, presente y futuro

Introducción

Se ha convertido en un lugar común, entre algunos de los que pretenden divulgar el Currículo oficial, la afirmación de que el *currículo* de la Reforma del Sistema Educativo adopta explícitamente el modelo psicopedagógico constructivista. Sin entrar en detalles acerca de si es posible hablar o no de tal modelo, lo que resulta sorprendente es que se haya recurrido, para llevar a cabo en la práctica las intenciones reformadoras, a una nueva versión de la vieja tecnología educativa. En nuestra opinión, dicha tecnología puede ser, no sólo ineficaz, sino incluso contradictoria con los principios teóricos en los que se inspira la Reforma.

En buena parte de la bibliografía de divulgación que se ha consultado, se insiste en que al discutir la programación no hay que centrarse en las parrillas tipo, en la forma de redactar los objetivos, en qué va antes o qué se coloca después; no debería, en resumen, estandarizarse el proceso. Enseguida, no obstante, se recuerda que hay que establecer, y en este orden, los objetivos, prever los contenidos, señalar las actividades más importantes, etc. Todo ello, eso sí, con continuas referencias a la flexibilidad con la que hay que desempeñar la tarea y a su carácter no único y abierto. Ahora bien, cuando llega el momento de plasmar las generalidades en algo concreto, a la hora de ponerse a escribir, una de las pocas cosas que ofrecen —con el fin de resolver lo que se considera un simple problema técnico— es la clásica parrilla de programación con los consabidos encabezamientos: contenidos (ahora, menos mal, de tres tipos), objetivos, actividades, recursos,...

Esta propuesta, para nosotros, no es más que un mero formalismo que no ayuda al profesor o a la profesora, en el momento de enfrentarse a la tarea de programar, a responder a las grandes cuestiones alrededor de las cuales gira el currículo: ¿Qué es conveniente enseñar en cada nivel educativo? ¿Cuándo es más adecuado introducir tal contenido y por qué? ¿Qué grado de profundización conceptual conviene alcanzar según las características de los y las estudiantes?... En definitiva, lo que se sugiere con los planteamientos citados es simplemente un «modelo impreso» para el que no se proporcionan, sin embargo, las «instrucciones» que permitan «cumplimentarlo» de la forma más pertinente.

En este sentido, resulta significativo que los materiales curriculares elaborados por los grupos que coordinan algunos de los y las *popes* de la perspectiva teórica del aprendizaje denominada constructivismo, como Driver u Osborne, no contengan prácticamente ningún resto de las «formas de hacer» que se acaban de mencionar.

En consecuencia, el lector y la lectora deben comprender que, después de lo dicho, en la elaboración de las dos unidades didácticas que se incluyen posteriormente no se haya seguido la ruta tecnológica, sino que se haya optado por un camino si se quiere más artesanal, preferiblemente ligado a la investigación en la didáctica de las ciencias, y, fundamentalmente aunque no de forma exclusiva, al amplio movimiento que podemos caracterizar como constructivismo (social). Se ha escogido, en fin, el modo de trabajo que viene siendo habitual entre los colectivos de profesores y profesoras preocupados por la innovación curricular. El proceso seguido se resume, pues, en las líneas que siguen.

En primer lugar, se ha revisado una parte de la literatura científica sobre el tema —la investigación en la didáctica de las ciencias— publicada desde 1980 hasta nuestros días. Se han consultado también algunos manuales universitarios de amplio uso en nuestro país, así como los libros de divulgación científica que teníamos a mano y que nos han parecido interesantes.

En segundo término, se ha construido, a partir del análisis bibliográfico, un cuestionario con el fin de determinar las ideas previas de nuestros alumnos y alumnas sobre el concepto objeto de la Unidad: la energía. La prueba se ha aplicado a estudiantes de 2º de BUP, cuya edad es la misma que la de los futuros alumnos y alumnas del 4º curso de la E. S. O.

En función de los resultados aportados por la investigación —de las conclusiones generadas por ella— y de las concepciones con que los estudiantes inician el estudio del tema, nos hemos planteado un esquema inicial para la Unidad que, por supuesto, incluye posibles contenidos y su distribución, así como objetivos, actividades, etc. Todo esto, sin embargo, sin llegar a tomar una forma bien diferenciada.

En tercer lugar, se han analizado diversos proyectos de enseñanza, tanto pertenecientes al campo de las ciencias de la naturaleza como al de la sociedad, unos ya contrastados y otros de carácter más experimental. Asimismo, se han revisado los materiales elaborados en nuestra práctica pedagógica durante los últimos años —unidades, diarios, etc.—. El debate y la reflexión sobre los contenidos más adecuados acerca de las actividades precisas, —siempre desde un enfoque coherente con los principios didácticos señalados en la primera parte del trabajo— nos ha llevado, ahora sí, a replantearnos en profundidad no sólo el mejor modo de introducir las nociones implicadas, sino la propia pertinencia de incorporar algunas de ellas, el nivel de desarrollo conceptual más adecuado y, en definitiva, la estructura misma de la Unidad tal y como se pensó en un principio.

En otras palabras, se parte de un boceto de lo que se pretende, pero de un esbozo para uso interno, del grupo de profesores y profesoras que trabajan en equipo. Su concreción da lugar a múltiples discusiones y análisis que, a su vez, provocan numerosos cambios en la propuesta inicial.

La elaboración de una Unidad didáctica, o la programación a corto plazo, está, por lo tanto, muy lejos de la apariencia de linealidad que se desprende de la presentación que se hace cuando se plantea mediante parrillas o instrumentos semejantes. Si acaso, éstas habrían de confeccionarse en fases más avanzadas del proceso y, en el caso de que se dirijan al consumo público, una vez culminado el mismo.

Revisión de las investigaciones sobre la didáctica de la energía

La naturaleza de la energía

Los currículos de ciencias que se introdujeron en los años 60 y 70, en la mayoría de los países, estaban basados, como señala Lijnse (1990), en las estructuras de las correspondientes disciplinas. En el caso de la Física, el concepto de energía juega un papel básico en su esqueleto teórico; de ahí que se haya pretendido introducirlo desde las edades más tempranas. Esta cuestión, sin embargo, no se encuentra exenta de polémica.

Hace ya once años, Warren (1982), en un brevísimo artículo, que todavía hoy constituye una referencia obligada, señalaba la existencia de un desacuerdo fundamental entre los profesores acerca de la naturaleza de la energía. Aun a riesgo de simplificar la realidad, el profesor de la Universidad de Brunel hablaba de dos grandes grupos: los materialistas, cuyo dominio en la enseñanza elemental, al menos en el ámbito anglosajón, era evidente, y los conceptualistas, quienes, en opinión del autor, son los que defienden los principios establecidos de la ciencia.

Desde **el punto de vista materialista,** la energía es como una sustancia, de naturaleza fluida, que tiene existencia objetiva. Dado que los estudiantes poseen experiencia sobre la energía en sus vidas cotidianas, la función del profesor de ciencias debería consistir en la extensión y formalización del conocimiento de algo ya familiar para los estudiantes.

Para los **conceptualistas,** por el contrario, la energía es una idea abstracta introducida por los científicos para ayudar en la investigación cuantitativa de los fenómenos. No se trata de algo sustancial, de lo que uno pueda llegar a ser consciente por la experiencia común. Es objeto de debate, todavía, si esta idea abstracta puede definirse adecuadamente con palabras, por ejemplo, como la capacidad para hacer trabajo, o si, en última instancia, su significado deriva de la estructura matemática de la que forma parte. Veamos lo que dice Feynman (1983) a este respecto:

> *Hay un hecho, o si se prefiere una ley, que gobierna todos los fenómenos naturales conocidos hasta la fecha. No se conoce excepción a esta ley —es exacta hasta donde sabemos—. La ley se llama la conservación de la energía. Establece que hay cierta cantidad que llamamos energía, que no cambia en los múltiples cambios que ocurren en la naturaleza. Ésta es una idea muy abstracta, porque es un principio matemático; significa que hay una cantidad numérica que no cambia cuando algo ocurre. No es la descripción de un mecanismo, o de algo concreto; ciertamente es un hecho raro que podamos calcular cierto número y que cuando terminamos de observar que la naturaleza hace sus trucos y calculemos de nuevo el número otra vez, éste sea el mismo.*

De esta concepción de la energía se derivan, para Lijnse (1990), dos observaciones. En primer lugar, que la energía es parte de una estructura abstracta y matemática de conceptos. Esta noción no se originó como una acentuación de las descripciones del mundo cotidiano, sino como una teoría construida de forma discontinua, guiada por idealizaciones simplificadoras, con el fin de interpretar la compleja realidad y para aprender a explicar su coherencia. Una parte del tortuoso camino que llevó a definir la energía como una cantidad que se conserva puede encontrarse en Harman (1990) y Khun (1982).

En segundo término, Lijnse se refiere al uso y a la expresión de dicha estructura. Aunque ésta es, desde el punto de vista matemático, internamente consistente, requiere una muy precisa y clara definición y demarcación de todas sus nociones. Esto sólo es posible llevarlo a cabo mediante la abstracción matemática. Se puede llegar a decir, por lo tanto, que es casi imposible hablar de un modo físicamente consistente y correcto sobre conceptos tales como energía y calor. Para la mayoría de los profesionales esto no es un problema, ya que pueden recurrir al formalismo matemático. Pero los alumnos y las alumnas no sólo no lo conocen, sino que tampoco entienden el sentido del mismo.

A la vista de estas dificultades, Warren (1983) afirma que la energía es un concepto muy difícil que frecuentemente se enseña muy mal, tanto en los cursos «tradicionales» como en los «progresivos». Ahora bien, ¿deberían llevarnos tales obstáculos a la supresión del concepto de energía —y los relacionados con éste— de la educación obligatoria?

El hecho es que los estudiantes llegan a la escuela secundaria ya familiarizados con la palabra energía. En efecto, como se menciona en el C.L.I.S.P. (1987), es probable que los alumnos de 11-12 años no difieran mucho, en cuanto a su utilización y a la comprensión del término, de la mayoría de los adultos. No es que los estudiantes no conozcan la noción de energía; se trata, más bien, de que ésta tiene para ellos un significado diferente, «profano».

En lo que sí parece haber acuerdo entre los distintos autores es en los aspectos básicos del concepto de energía, que se podrían resumir como sigue (Duit, 1984; CLISP, 1987).

a) Concepción de la energía. Se refiere a la estructura filosófica subyacente en esta noción. Algunas de las concepciones más comunes se presentarán cuando hablemos de los esquemas conceptuales alternativos de los alumnos.

b) Transferencia de la energía. La cantidad que llamamos energía puede, cuando dos sistemas interaccionan, transmitirse de un sistema a otro.

c) Conversión de la energía. La energía puede aparecer en diversas formas, siendo posible la conversión de una a otra.

d) Conservación de la energía. Cuando la energía se transfiere de un sistema a otro, o cuando se convierte de una forma en otra, la cantidad de la misma no cambia.

e) Degradación de la energía. Aunque la cantidad de energía no haya cambiado, el valor de la energía ha decrecido. La energía de un cuerpo en movimiento (energía cinética) y la energía transportada mientras la corriente fluye (energía eléctrica), por ejemplo, son de alto valor. Es posible convertirlas, en principio, totalmente en otras formas de energía. La energía que se transporta debido al intercambio térmico (energía calorífica) es de menor valor (especialmente a baja temperatura) porque sólo se puede convertir en energía cinética ordenada en una cierta extensión (Duit, 1984).

Puesto que la influencia de los medios de comunicación en la construcción del significado «profano» de la energía es notable (Solomon, 1983), pasaremos ahora a considerar la energía en el mundo en el que vivimos.

La energía en el mundo cotidiano

Como no conocemos trabajos de esta índole en nuestro contexto, nos centraremos en el de Lijnse (1990), realizado en Holanda, con la convicción de que de haberse hecho aquí los resultados hubieran sido semejantes. Dicho autor revisó, de modo cualitativo, diversos panfletos y artículos de revistas y periódicos escritos para el público en general y relacionados con la utilización del concepto de energía.

Una característica común a estos escritos era que situaban el problema de la energía como punto de partida. El asunto se formulaba, más o menos, en los siguientes términos: existe la amenaza de la falta de energía y, como ésta es imprescindible, hay que tomar toda clase de medidas. En otras palabras, la energía es necesaria para el funcionamiento de nuestros medios técnicos —y éstos, a su vez, para el de la sociedad—, pero tal energía se consume. Convertir la energía disponible en energía utilizable supone una pérdida notable de la misma.

Las situaciones que aparecían en los medios se pueden clasificar en dos grupos: las relacionadas con el consumo y el suministro de energía en el mundo (o en el país) y las relativas al consumo energético en el hogar. En el primer caso, la cuantificación de la energía tenía que ver siempre con cantidades de energía disponibles, consumidas o que pueden ahorrarse. En el segundo, la cuantificación estaba dirigida a calcular la energía que podía ahorrarse, por ejemplo, mediante aislamiento o incrementando la eficiencia de los aparatos, etc. Conviene poner de manifiesto el hecho de que el principio de conservación de la energía, en el sentido científico, no jugaba papel alguno en esta clase de literatura.

En resumen, el concepto de energía que destaca en los *mass-media* se puede describir así: *la energía es algo «material» (combustibles o una clase de combustible) que tiene una disponibilidad limitada, que se usa o consume para nuestro beneficio y que se pierde en este proceso, por lo que ha de ser tratada cuidadosamente.*

El lenguaje que se utiliza habitualmente requiere, por otra parte, una mirada más precisa. El significado de las palabras parece accesible si nos movemos en el mundo de los significados cotidianos; pero si nos preguntamos por su relación con la Física, los problemas vuelven a surgir. Hay términos del mundo real claros en ambos mundos (cantidad de energía, por ejemplo), y nociones cuyo significado en el primero es claro, pero son imprecisas —o, al menos, se prestan a confusión— desde el punto de vista científico. Los problemas de significado sólo pueden ser advertidos por alguien que, conscientemente, utilice un marco de referencia físico. Nuestros alumnos, no obstante, rara vez poseen ese conocimiento, ellos sólo interpretan las palabras del mundo real en el contexto del mundo de cada día.

Nuestro siguiente paso va a consistir, precisamente, en estudiar cuáles son las ideas sobre la energía con que los alumnos llegan a las clases de ciencias.

Las concepciones de los estudiantes sobre la energía

En los últimos veinte años se ha ido configurando una extensa literatura sobre las concepciones de los estudiantes en numerosos dominios científicos. Hoy en día estamos en condiciones de afirmar que los alumnos y las alumnas llegan a las clases de ciencias con ideas previas que pueden diferir sustancialmente de las nociones que se enseñan, que tales concepciones influyen en el aprendizaje posterior y que suelen ser muy resistentes al cambio (Driver, 1989).

En el terreno que nos ocupa, el de la energía, ya Duit en 1981 se hacía eco de tales preconcepciones provenientes, sobre todo, de la influencia de los medios de comunicación. Esto explicaría, inicialmente, los aspectos comunes que se presentan en la mayoría de los estudiantes. En particular, Duit destaca cómo el significado coloquial del término energía no se extiende al principio de la conservación; éste no se aplica espontáneamente para explicar ciertas experiencias sencillas. Al contrario, la idea generalizada es que la energía se consume —y, en consecuencia, se gasta—.

Estas nociones, adquiridas en el proceso de socialización, *viven bajo una delgada capa de conocimiento físico* y salen a la luz en cuanto la situación que haya que explicar se complica un poco.

En un excelente artículo, Solomon (1983) profundiza en la naturaleza de este conocimiento previo. En su opinión, en lugar de abogar por su extinción, lo que habría que hacer es potenciar que los alumnos piensen y operen en los dos diferentes dominios de conocimiento: el del mundo real y el científico.

Para caracterizar estas dos esferas, distintas en su génesis y en su forma de funcionamiento, la autora recurre a la teoría de Schutz y Luckmann (1973). Para ellos, en la «actitud natural» o normal todos tendemos a categorizar nuestras experiencias bastante pobremente de manera que puedan ser absorbidas en las «estructuras de significado». Éstas se refuerzan por la comunicación con otros y por el lenguaje mismo, que proporcionan a este conocimiento del «mundo real» tanto valor social como gran persistencia.

En la escuela, durante el segundo proceso de socialización, se aprenden otros sistemas interpretativos de conocimiento. Por encima de las estructuras del mundo real se forman lo que se ha dado en llamar «universos simbólicos» de conocimiento. Su perspectiva de interpretación es extraña a la actitud natural y considerablemente más frágil; de ahí que las primeras estructuras no sean erradicadas mediante el aprendizaje.

Uno de los mayores problemas que la institución educativa tiene planteados reside en que, como veremos en seguida, la facilidad para pasar de un dominio de conocimiento a otro no es simétrica.

¿Cómo se traduce lo que se acaba de decir a las situaciones de enseñanza de la energía?

Solomon lo ejemplifica por medio de una cuestión presentada a estudiantes de 14-15 años que se encontraban trabajando sobre las transformaciones de la energía. El ítem mostraba un taladro eléctrico haciendo un agujero en un trozo de madera; la pregunta era esta: ¿qué cambios de energía tienen lugar? La respuesta esperada, en función de los contenidos de enseñanza, consistía en la cadena: energía eléctrica-energía cinética-energía calorífica.

Sin embargo, un selecto grupo de alumnas y alumnos incluyó, además, términos no energéticos, con el fin de ampliar o explicar su contestación. Esto sería, para la autora, un claro ejemplo de unos estudiantes trabajando en los dos dominios, que pasan de uno a otro y que son capaces de distinguirlos.

Más adelante, Solomon somete a prueba y confirma dos hipótesis. De un lado, conforme transcurre el tiempo el conocimiento cotidiano borra la estructura de significado aprendida en clase; por lo tanto, ésta será la que se utilice en cualquier situación siempre que, como suele suceder, no haya más refuerzo del conocimiento simbólico.

De otra parte, el paso de un dominio a otro es más difícil que la operación continua en uno solo, y es, a su vez, un índice de un nivel de comprensión más profundo. Los alumnos que habían demostrado su capacidad para cruzar de una esfera a otra sin error poseían una comprensión más segura de la noción de energía y sus transformaciones; la duración del conocimiento fue, asimismo, mayor en este caso.

El primer intento riguroso de conceptualizar el pensamiento de los alumnos y las alumnas sobre la energía se debe a Watts (1983). En un trabajo que posteriormente ha sido muy citado y, en ocasiones, ligeramente matizado, Watts definió los siguientes esquemas conceptuales:

1. Antropocéntrico. La energía se asocia con los seres humanos, que la necesitan para ser activos y que pueden perderla.

   Bliss y Ogborn (1985) dan cuenta de que aunque los esquemas de Watts incluyen esta visión antropocéntrica de la energía, no prestan, sin embargo, atención a la naturaleza viva de los objetos implicados en los intercambios de energía, aspecto que sí parece jugar un papel destacado a la hora de elegir las situaciones en las que está presente la energía.

2. Almacén. Algunos objetos tienen energía y la gastan.

3. Ingrediente. La energía es un componente latente dentro de los objetos; se necesita un disparador para que aquella se libere.

4. **Producto.** La energía se ve como un derivado de alguna situación o como el resultado de un proceso.
5. **Actividad obvia.** La energía se identifica con la presencia de actividad, en particular, con el movimiento.
6. **Funcional.** La energía se entiende como una clase muy general de fluido, que se asocia con el hecho de hacernos la vida más cómoda.

   De nuevo Bliss y Ogborn introducen un matiz en la interpretación de este esquema conceptual. Desde su punto de vista, la noción de actividad unida a la de almacén de un modo causal podría reemplazar al concepto funcional. Este esquema presenta, además, otra dificultad. Es posible que los objetos que los estudiantes usan con frecuencia en sus casas tengan, en términos de «energía usada o necesitada», más sentido para ellos que los que no conocen.

   Para Bliss y Ogborn, los niños tienden a hacer distinciones basadas en si comprenden o no cómo funcionan los objetos y en si están o no familiarizados con los combustibles necesarios para su funcionamiento. De ser así, esto sugeriría que los esquemas conceptuales alternativos podrían ser significativamente dependientes tanto del aprendizaje como del desarrollo.
7. **Transferencia de fluido.** La energía se considera como un tipo de fluido que se transfiere —puede entrar y/o dejar algo— en ciertos procesos.

Trumper (1990) ha modificado ligeramente esta clasificación a partir de las respuestas dadas, por alumnos israelíes de una high-school, a un cuestionario basado en las tareas formuladas por Duit (1984), y a una serie de entrevistas fundamentadas en el cuestionario de Bliss y Ogborn (1985). En concreto, este autor ha subdividido los esquemas 2 y 7 en dos categorías:

2a. **Almacén pasivo**, esto es, la categoría original.

2b. **Almacén activo.** La energía se entiende como causa de que ocurran cosas, necesaria para la realización de algunos procesos.

7a. **Transferencia de fluido.** La energía es vista como un tipo de fluido en algunos procesos.

7b. **Concepto científicamente aceptado.** Cuando dos sistemas interaccionan (por ejemplo, cuando un proceso tiene lugar), algo, que llamamos energía, se transmite de un sistema a otro.

Trumper resume así las conclusiones obtenidas del análisis de las contestaciones:

— Todas las alumnas y los alumnos emplean más de un esquema conceptual alternativo en sus respuestas. A la misma conclusión llega Lijnse (1990); en su investigación, incluso las definiciones correctas incluían elementos de las ideas alternativas.

  Esto contradice la interpretación inicial de tales esquemas hecha por Watts, según la cual éstos constituyen una estructura compleja que proporciona una razonable y coherente explicación. Para Lijnse, los estudiantes han desarrollado una clase de pensamiento natural (Guidoni, 1985) con respecto a la energía. Se trata de ideas básicas que ellos utilizan de modo flexible según la situación.

— Todos los alumnos y las alumnas sostienen los esquemas conceptuales 1, 2b y 5.

— Las nociones 3, 6 y 7a raramente aparecen.

— Los conceptos 4 y 5 surgen en más ocasiones después del estudio de la física.

— El esquema 7b escasamente se observa, ya sea antes o después de la instrucción; es decir, la enseñanza de la física, como ya había señalado Duit (1984) en otros contextos —estudiantes alemanes y filipinos—, no tiene mucho éxito en cuanto al aprendizaje del concepto de energía se refiere. Esto se pone de manifiesto, sobre todo, cuando se trabajan las aplicaciones del concepto. De algún modo, los estudiantes continúan adheridos a los mismos esquemas conceptuales que sostenían antes de estudiar el tema o, como sugiere Solomon, prefieren operar dentro del dominio del mundo real.

En resumen, Lijnse manifiesta que el pensamiento natural de las alumnas y los alumnos —de 16 años, en esta ocasión— sobre la energía se caracteriza por *su gran antropomorfismo y su carácter material (sustancial), causal y no matemático. La energía, para ellos, es algo (una clase de combustible/fluido) que se consume, y como resultado pierde su utilidad. Es algo que existe objetivamente, pero por algunas oscuras razones parece encontrarse en toda clase de formas. Como tal, la energía se puede calcular y salvar.*

Adviértase la enorme similitud entre esta caracterización y la dada por los mass-media y que fue descrita en el apartado anterior.

En nuestro país, Hierrezuelo y Molina (1990) han llevado a cabo un interesante trabajo en el que, a partir de las ideas de los estudiantes —obtenidas mediante entrevistas orales y un cuestionario— elaboran una propuesta para la introducción de la energía en el Bachillerato (2º de BUP), cuyos rasgos principales resumiremos en el próximo epígrafe.

Implicaciones didácticas

Como ya se dijo más arriba, Duit (1984) sostiene que el impacto de la enseñanza de la física en la comprensión del concepto de energía es muy limitado. Sus trabajos muestran en especial, que la mayoría de los alumnos y las alumnas no emplea el principio de conservación de la energía para explicar los procesos idealizados de la mecánica. La contribución que la educación científica puede hacer, por consiguiente, a la comprensión de los problemas energéticos con los que se enfrenta la sociedad actual es pequeña.

Lo que este autor nos propone para la enseñanza de la energía de los 12 a los 16 años, radica en hacer significativo el sentido coloquial del concepto, introduciéndolo de un modo similar al empleado en el proyecto Nuffield (1984) . Aquí, se considera a *la energía como algo que se obtiene de los «combustibles» (tales como carbón, el petróleo, la alimentación e incluso el sol) cuyo cambio a otras formas genera «tareas útiles» como el transporte de una carga a la parte superior de un edificio, la aceleración de un coche o de una bola, el calentamiento del agua del baño, ...».*

Tal definición, todavía poco clara, ha de ir elaborándose con nuevos ejemplos. La conservación de la energía debería introducirse paso a paso. Mejor que comenzar con una formulación general, habría que desarrollar dicho principio por medio de ejemplos sencillos, tales como los procesos sin rozamiento del campo de la mecánica (péndulo simple, péndulo galileano, movimiento de objetos en trayectorias curvas, etc.). La validez universal de la conservación de la energía se ejemplificará, a continuación, poco a poco.

En su segundo trabajo, Duit (1984) insiste en que la noción de energía no debiera estar tan próxima a la de trabajo, sino que debería partirse, en la enseñanza, de una concepción más integral.

Añade, además, que no tendría que perderse demasiado tiempo en intentar convencer a los estudiantes de que el principio de conservación es válido en los procesos mecánicos idealizados. Parece, por el contrario, más adecuado dedicar parte del mismo a la introducción del aspecto relativo a la degradación de la energía. Esto ayudaría a comprender la conservación. Duit arguye como

sigue: el principio de conservación de la energía (PCE) contradice, hasta cierto punto, la experiencia cotidiana. La energía siempre se disipa. La noción de degradación explica esta «desaparición». La energía no se pierde sino que disminuye su valor.

Joan Solomon (1983) pone en entredicho en sus conclusiones, uno de los principios didácticos más extendidos en la actualidad. En efecto, normalmente se sugiere que los conceptos, o los problemas, se introduzcan, o se ilustren, en un contexto familiar al alumno. Se alega que esto hace (1) la situación fácilmente comprensible, (2) la cuestión más interesante y (3) el problema más fácil de conceptualizar. Los resultados mostrados en el artículo arrojan muchas dudas sobre la última de las especulaciones. Se sugiere que tales ilustraciones pueden provocar que los estudiantes abandonen su comprensión en el dominio simbólico por el familiar sistema de explicación cotidiano, una vez que volver a recorrer el camino en el sentido inverso se ha mostrado extremadamente duro.

Para la autora, *los niveles de comprensión más profundos no se logran ni en las abstractas alturas de la física pura, ni en la lucha por eliminar las inexactas estructuras de la comunicación social, sino por la facilidad y discriminación con que aprendemos a movernos entre estos dos opuestos dominios o esferas de conocimiento.*

Los trabajos realizados en nuestro país presentan algunos matices que los diferencian de los practicados en el extranjero. En esencia, se trata de análisis y propuestas centradas en el B.U.P., tramo preparatorio para la universidad y, en consecuencia, no obligatorio, y de carácter más «academicista» que las etapas dirigidas al conjunto de la población entre 12 y 16 años sólo, en las que suelen focalizarse la mayoría de las investigaciones que aquí estamos considerando. En una cosa sí que hay acuerdo: la enseñanza tradicional no logra que los alumnos y las alumnas aprendan adecuadamente el concepto de energía y las nociones relacionadas.

En un artículo pionero, Vega y Agapito (1978) discrepan de la presentación habitual de las ideas de trabajo, energía y calor. Después de resumir los inconvenientes de la misma, abogan por definir, en primer lugar, el concepto de energía e incorporar, posteriormente, las nociones de trabajo y calor como dos formas de medir las energías transmitidas en distintos casos.

También López Rupérez, F. y López Rupérez, E. (1983) defienden la introducción previa de la energía. Desde una perspectiva ausubeliana, se inclinan por partir de una definición real descriptiva de la energía, a la que progresivamente se le van añadiendo nuevos atributos. Se persigue, así, el logro de un aprendizaje significativo por inclusión. Una vez concluida esta primera aproximación, es cuando habría que incorporar el concepto de trabajo como una medida de la energía transferida en un tipo particular de proceso.

Una propuesta favorable a la incorporación de algunas nociones de la termodinámica es la ofrecida por **Sevilla** (1986). Una vez revisadas algunas de las dificultades que entraña el concepto de energía, la autora rechaza la secuencia tradicional trabajo-potencia-energía-principio de conservación (todo ello sin ejemplos extraños a la Mecánica), y presenta una estructura lógica alternativa que se podría articular en los siguientes aspectos:

1. **Concepto de energía.** Se parte de una recopilación de material, aportado por los propios alumnos, que recoja sus ideas; esto dejará clara la generalidad y riqueza del concepto. Luego se intenta caracterizarlo planteando situaciones más «típicamente físicas». A continuación, se plantea el problema de evaluar la cantidad de energía de que dispone un sistema en un instante y situación y la forma en que ésta se puede transferir.

   Los sistemas se transforman por interacción. Esta fuerza produce una modificación en la disposición inicial del sistema y la magnitud de la transformación se identifica con el trabajo, cuya definición operativa se puede introducir.

   Pero, además, los sistemas pueden modificar su energía al interactuar con otro sistema que está a distinta temperatura.

La energía se define, pues, como una propiedad del sistema que se manifiesta de muchas formas y que puede variar por la intervención del trabajo y/o del calor.

2. Profundizando en el estudio de las transformaciones. Se empieza con dos ya conocidas: cambios de posición y de velocidad. Se introduce la energía cinética y la potencial del modo clásico, identificando la variación de energía con el trabajo realizado.

   Al considerar las dos transformaciones simultáneamente y generalizar los resultados se llega al PCE, en las dos clases de sistemas: conservativos y no conservativos (rozamiento).

   A partir de un sistema en reposo, que bien podría ser un recipiente que contiene un gas, se introduce el concepto de energía interna, que se modifica cuando el sistema intercambia calor. Se introduce ahora la interpretación de la temperatura y el calor a escala microscópica. Pero como la energía interna puede variar también si se realiza trabajo, es posible llegar al enunciado de la 1ª ley de la Termodinámica. También se puede introducir aquí el equivalente mecánico del trabajo.

3. Aproximación al concepto de entropía. Conviene llamar la atención sobre el hecho de que los procesos espontáneos ocurren en un sentido y no en otro. Explicar esto supone introducir una magnitud característica del estado del sistema, la entropía, caracterizada porque en todos los procesos espontáneos la entropía del universo aumenta. Aunque se conserve la energía, parte de ella se invierte en aumentar la entropía y esta parte, no recuperable, no se podrá utilizar para realizar trabajo.

4. Educación energética. La secuencia se completa con una discusión sobre las diferentes fuentes de energía (incluso cabe la posibilidad de un trabajo interdisciplinar). Se ofrece, así, la opción de relacionar el conocimiento escolar con la problemática de la sociedad en la que vive el alumno.

Hierrezuelo y Molina (1990), en el artículo ya citado, llegan a las siguientes conclusiones:

a) La principal dificultad conceptual radica en la diferenciación entre fuerza y energía. Esto se debe, concretamente, a la confusión que existe entre la fuerza de los objetos que se mueven —preconcepción muy difícil de transformar— y la energía cinética que debe sustituir a ésta. Tal enredo no le parece sorprendente a Carcavilla (1990), ya que en una época importante y reciente ambos conceptos han estado bastante confundidos y entremezclados. De hecho, el título que Helmholtz dio a su memoria seminal de 1847 fue el de *Sobre la conservación de la fuerza*. En esta idea subyace una sugestiva ambigüedad, porque lo mismo denotaba la indestructibilidad y transformabilidad de las capacidades naturales que la conservación de la energía (Harman, 1990). *Helmholtz derivó una forma general del principio de conservación de la fuerza viva, arguyendo que el cambio de fuerza viva en el movimiento de un cuerpo sobre el que actuase una fuerza central que emanase de un centro de fuerza fijo, se media por el cambio de magnitud que denominó «fuerza de tensión». La fuerza de tensión era el producto de la intensidad de la fuerza central y la distancia entre el cuerpo y el centro de fuerza. El principio de conservación de la fuerza expresaba que la suma de la fuerza viva y la fuerza de tensión era constante.*

   Las expresiones de Helmholtz «fuerza viva» y «fuerza de tensión» concuerdan con «energía cinética» y «energía potencial»; y su principio de la «conservación de la fuerza» proporcionaba un enunciado matemático de la conservación de la energía.

   Una enseñanza diseñada específicamente para eliminar esa confusión parece, en opinión de Hierrezuelo y Molina, conseguirlo de un modo significativo. Por su parte, Carcavilla realiza una propuesta para superarla basada, precisamente, es esta inicial maraña histórica, así como en la noción de diferenciación progresiva (Ausubel, 1976). Bajo su perspectiva, lo

recomendable sería introducir, casi simultáneamente, los dos conceptos, energía y fuerza, de un modo descriptivo y cualitativo, y hacer ejercicios de descripción y explicación de fenómenos utilizando los dos conceptos desde el principio.

b) Los alumnos prefieren resolver los problemas de un modo dinámico antes que energéticamente.

c) El PCE juega un papel fundamental en la comprensión de lo que es la energía. Los autores comparten la opinión de Solomon (1985), en el sentido de que una formulación positiva del mismo —frente a la habitual «*ni... ni...*»— contribuye a que los alumnos y las alumnas lo utilicen mejor en la resolución de problemas.

Al igual que Duit (1984), Hierrezuelo y Moreno proponen introducir la noción de degradación de la energía, con el fin de evitar la equivocación entre la conservación y el lenguaje cotidiano.

Parece interesante, asimismo, ampliar la aplicación del PCE a situaciones correspondientes a ámbitos distintos al de la mecánica.

d) La confusión entre los significados de los términos fuerza, energía y trabajo nos alerta sobre la ineficacia de una enseñanza que no se empeña en delimitar tales conceptos. De no hacerlo así, los estudiantes, tal como señalaba Solomon (1983), recurrirán a su lenguaje cotidiano en detrimento del científico.

e) La comprensión de que el trabajo mide una de las formas de variación de la energía es difícil incluso empleando programas de enseñanza cuidadosamente diseñados. Los autores estiman necesario profundizar, mediante nuevas investigaciones, en este aspecto.

Lijnse (1990) propone un diseño curricular que, aunque en el plano teórico, posee un notable interés. Este parte de los resultados de investigaciones anteriores, que el propio Lijnse contrasta, como ya vimos en el tercer apartado. En su opinión, los profesores tenemos que tratar con dos clases diferentes de pensamiento sobre la energía. Mientras que **en el mundo cotidiano** actuamos bajo el prisma del sentido común, **guiados por un motivo pragmático** (como el de ahorrar energía, por ejemplo), **en la Física la perspectiva es teórica**, guiada por un motivo explicativo y unificador.

Si este análisis es correcto, se pregunta el autor, ¿qué tiene cada uno de los mundos, en realidad, que decirle al otro? ¿Una comprensión teórica de la energía también tiene una significación directa para hacer frente a la energía en el mundo real? O, a la inversa, ¿las experiencias con la energía en dicho mundo constituyen un valioso punto de partida para el desarrollo de una comprensión teórica de la energía? Una respuesta positiva a la primera pregunta se da desde la perspectiva Ciencia-Técnica-Sociedad, que propone, en general, una enseñanza más relevante de la Física. Por otro lado, la visión constructivista, que persigue una mejora de la enseñanza, partiendo de las ideas previas de los estudiantes, contesta afirmativamente a la segunda cuestión. Sin embargo, las dos respuestas precisan, según Lijnse, de ciertas matizaciones.

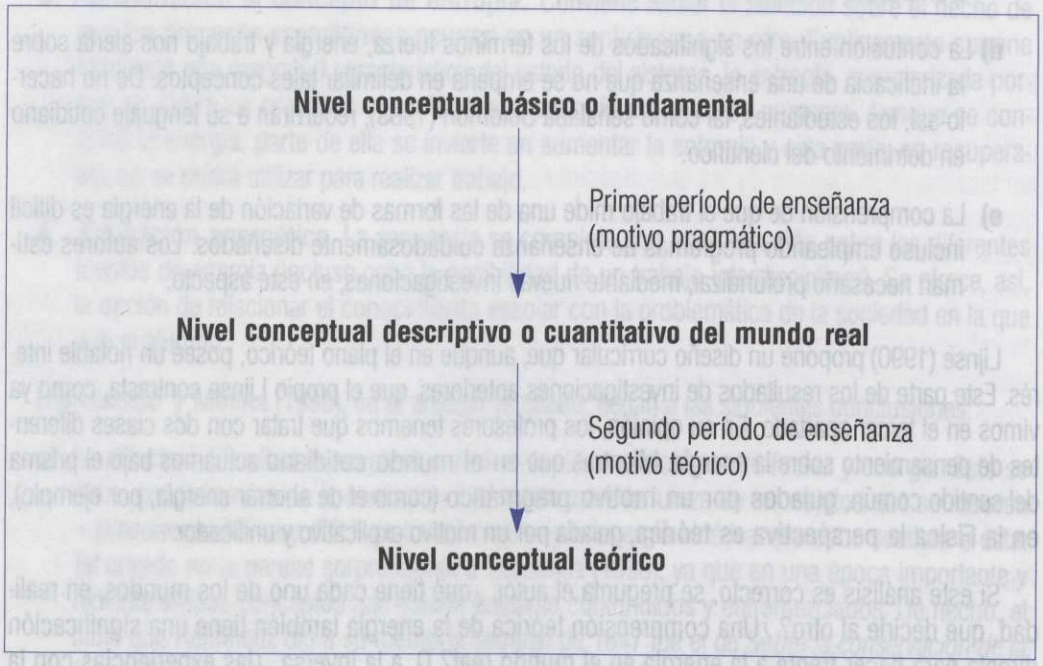
En el primer caso, el autor advierte que si la enseñanza tradicional, dirigida a la comprensión teórica sufre —como ya se ha dicho varias veces— inevitablemente numerosas interferencias con las ideas de la esfera cotidiana, ¿qué se podrá esperar de los intentos de unir las lecciones de Física al mundo de los alumnos y las alumnas? Aprender en un contexto significativo para las estudiantes puede aumentar su motivación —condición, eso sí, necesaria—, pero no disminuirá obligatoriamente las dificultades del aprendizaje, en particular, si los problemas están inherentemente relacionados con el contexto mismo.

En cuanto al segundo, Lijnse se muestra de acuerdo con el enfoque constructivista pero lo encuentra insuficiente para resolver el asunto que estamos abordando. En efecto, considera que

aquél no constituye todavía una teoría que proporcione prescripciones suficientemente claras sobre cómo enseñar y aprender en dominios definidos de la Física. Necesitamos, señala, teorías más específicas que nos digan cómo se puede tender un puente que una las dos esferas de pensamiento: la del mundo cotidiano y la de la Física. Su propuesta intenta dar un paso en esa dirección, y para ello intentará, en lo sucesivo, combinar las dos perspectivas citadas, C-T-S y constructivismo.

La sugerencia de algunos autores de eliminar la enseñanza de estos conceptos —energía, trabajo, calor— (Warren, 1982; Summers, 1983) en los tramos educativos elementales carece, para Lijnse, de sentido, ya que éstos poseen relevancia práctica —la cual implica conocimiento y destrezas útiles para actuar en las situaciones del mundo real—, aunque no relevancia teórica —que se dirige hacia una comprensión más profunda y coherente del mundo en el que vivimos—.

Lijnse aborda el problema de la enseñanza de la energía mediante una secuencia educativa longitudinal y dependiente de la edad. Propone un desarrollo conceptual en tres niveles, que parte del conocimiento del alumno, es decir, que se inicia desde el dominio del pensamiento cotidiano y habla de la energía en el nivel del mundo real en situaciones de dicha esfera.



En el nivel fundamental los estudiantes conocen que existe una conexión entre ambos mundos de un modo intuitivo; saben que todas las situaciones seleccionadas tienen que ver con la energía y la Física, pero todavía no es posible una argumentación bien ordenada sobre las acciones que hay que tomar.

El punto de partida para enlazar con el mundo cotidiano precisa del desarrollo de la pertinencia pragmática, lo que quiere decir que hay que crear un problema significativo sacado de las conexiones intuitivas del nivel básico; aquél podría surgir, por ejemplo, de una cuestión acerca de los aspectos técnico físicos que son relevantes para ocuparse mejor de la energía en situaciones seleccionadas de la vida diaria.

Esta cuestión proporciona un criterio de selección y una perspectiva para el primer período de enseñanza, en el cual los conceptos se desarrollan hasta el siguiente nivel. Las nociones del mundo real se cuantifican y completan de tal manera que las situaciones energéticas relevantes pueden ahora describirse desde la perspectiva elegida. Esto significa que el motivo pragmático debería ser característico en esta fase de la enseñanza. El nivel cuantitativo resultante de este período todavía parte de la idea central de que la energía es algo material que se pierde.

Para reducir las pérdidas se pueden tomar medidas cuyos efectos es posible calcular. La conservación de la energía funciona como una regla que permite computar cuánta energía se disipa en ciertos procesos o aparatos. Desde la perspectiva del ahorro de energía, los estudiantes son capaces ahora de razonar sobre estas situaciones y medidas. En este nivel, sin embargo, todas las ideas cualitativas sobre la energía descritas por Watts (1983) —características del dominio de conocimiento del mundo cotidiano— pueden permanecer prácticamente intactas. Se trata, pues, de un nivel de conocimiento de carácter funcional, adaptado a las situaciones prácticas.

La transición del nivel fundamental al nivel descriptivo ha de entenderse como una transición continua; todavía no se trabaja con conceptos físicos.

Para el desarrollo de estos últimos se requiere una segunda transición del nivel descriptivo al nivel teórico, en el que la estructura conceptual de la Física es tanto el punto de partida como la meta final. El sentido de esta transición puede derivarse de la aceptación del fin explicativo y unificador de la Física. Así pues, la perspectiva teórica debería estar clara para los alumnos y actuar como un motivo para ellos durante el segundo período de enseñanza.

Sólo ahora los alumnos y las alumnas podrán apreciar la necesidad de las situaciones idealizadas, del desarrollo conceptual preciso y del manejo exacto del lenguaje. Esta segunda transición supone una verdadera reorganización conceptual, es un paso discontinuo. En la terminología de Posner *et al.* (1982), se trata de una acomodación conceptual. Para que tenga lugar hay que recurrir a las situaciones idealizadas; las situaciones y los contextos de la vida real no se adaptan a ella. Ahora bien, una vez que el nivel teórico es inicialmente alcanzado, parece útil volver a las situaciones del nivel descriptivo.

Al explicar éstas desde un prisma teórico coherente, la reorganización conceptual se completará mejor. Además, este retorno proporciona a las alumnas y los alumnos la oportunidad de reflexionar sobre la relevancia pragmática ya comentada y a aprender, así, a reconocer sus limitaciones. Es en este momento, por ejemplo, cuando se pueden discutir los esquemas alternativos de Watts, ya que ahora sí se dispone de una alternativa teórica a los mismos.

Para Lijnse, al igual que para Solomon, no se trata de destruir el conocimiento previo de los estudiantes, sino de utilizarlo y comprenderlo de un modo flexible. Pasar con soltura las dos esferas de conocimiento sólo puede tener lugar cuando el dominio simbólico ha sido desarrollado. Al mismo tiempo, los estudiantes se percatan de que el desarrollo científico es, en efecto, relevante para la práctica e incluso más poderoso que la extensión conceptual correspondiente al nivel descriptivo.

El autor termina preguntándose acerca de qué tipo de desarrollo conceptual sería necesario y suficiente según la edad de las alumnas y los alumnos. Aun sin precisar demasiado, lo que sí queda claro en este trabajo es que hay que replantearse los objetivos educativos —y, en consecuencia, los contenidos correspondientes—, sobre todo con los estudiantes más jóvenes. Habría que intentar, en última instancia, que éstos sólo aprendieran aquello que puedan experimentar como útil y relevante en su mundo cotidiano.

En cierto modo, esta propuesta de enseñanza es adaptable a la nueva etapa que se va a configurar en nuestro país: la Educación Secundaria Obligatoria. No en vano, durante el primer ciclo de la misma podría darse la primera transición, hasta el nivel descriptivo, y en el cuarto curso, la segunda, hasta el nivel teórico. Si acaso, cabe preguntarse, dados los resultados de las investigaciones mostradas hasta este punto, si no sería más conveniente postergar el logro del tercer nivel para el Bachillerato, etapa en la que la relevancia teórica puede actuar, más fácilmente, como un motivo asumible por los estudiantes (aunque esto sigue siendo difícil hasta en la universidad, y no nos referimos tan sólo a los estudiantes). De este modo, el objetivo para la etapa obligatoria residiría, únicamente, en la consecución completa del nivel cuantitativo, algo semejante a lo que proponen Driver y sus colaboradores en el proyecto CLIS (la «energía para el consumidor»).

Los escritos de Trumper (1990, 1991) son unos de los más interesantes, ya que en ellos no se conforma con diagnosticar las concepciones sobre la energía más extendidas entre los alumnos y las alumnas, sino que incluye una propuesta de intervención educativa que parte, precisamente, de dichas ideas. El planteamiento se enmarca en la perspectiva constructivista y se basa, por un lado, en la interpretación que del cambio conceptual hace Hashweh (1986), y, por otro, en la noción de reestructuración, en concreto, en el mecanismo denominado generación pautada sugerida por Rumelhart y Norman (Pozo, 1989). Tal mecanismo insinúa que un nuevo esquema se puede modelar sobre otro viejo; la reestructuración resulta de las interacciones con el nuevo conocimiento, analogías, etc.

Como ya vimos en el apartado anterior, Trumper encontró que todos los alumnos que sometió a su diagnóstico sostenían los esquemas conceptuales antropocéntrico, energía como causa y energía como producto. Por lo tanto, el concepto de energía no se podrá enseñar efectivamente si no se tienen en cuenta dichos esquemas.

Ninguno de ellos se puede considerar como inaceptable desde el punto de vista científico; más bien, se trata de nociones limitadas. De ahí que Trumper no estime oportuno crear un conflicto conceptual que de lugar a la correspondiente acomodación, sino que prefiera que los estudiantes sean conscientes de las restricciones de sus propias concepciones. La propuesta de intervención está más cerca, pues, de lo que Posner *et al.* denominan asimilación conceptual. Este cambio a pequeña escala requiere la realización de tres pasos:

a. Diagnóstico. El profesor recoge —mediante cuestionario y/o entrevistas— y resume las ideas previas de sus alumnos y alumnas.

b. Toma de conciencia. Es la etapa crucial en la que los estudiantes reconocen y analizan sus propios esquemas.

c. Generalización. En donde los estudiantes comienzan a crear un nuevo esquema conceptual a partir de los que sostenían inicialmente, gracias al uso de analogías.

A modo de ejemplo, veamos cómo el autor se ocupa del esquema antropocéntrico. La intervención, de carácter eminentemente socrático, se desarrolla, en este caso, en cinco etapas:

1) Los estudiantes, organizados en pequeños grupos, reciben un protocolo con sus opiniones sobre el concepto de energía. El protocolo incluye las descripciones hechas por los estudiantes de un dibujo que mostraba a un hombre empujando una caja hacia lo alto de una colina.

2) A continuación, los alumnos y las alumnas reciben un dibujo de un motor eléctrico levantando una caja también hacia arriba, y se les invita a describirlo en términos de energía.

3) El motor eléctrico se sustituye por una máquina de vapor, invitándoseles a describir la situación en función de la energía.

4) Se pide a los alumnos que busquen algunas propiedades relativas a la energía y comunes al hombre, al motor eléctrico y a la máquina de vapor.

5) Los estudiantes, mientras hablan en términos de energía, intentan identificar algunas propiedades especiales que distinguen al hombre de las máquinas, cuando todos están realizando la misma acción, por ejemplo:

> *Anat. El hombre usa la energía que consigue para hacer algún proceso... Una hoja también actúa así, desde el principio «sabe» que tiene que usar la energía del sol y trasformarla. El hombre también usa la energía que consigue en muy diferentes procesos.*

Vemos, pues, que las alumnas y los alumnos empiezan a hablar del ser humano como un «agente energético» en un continuo proceso de transferencia de energía; este es, precisamente, el nuevo esquema que se esperaba generar.

Las ideas de nuestros alumnos y alumnas sobre la noción de energía

Descripción del cuestionario

Para determinar las concepciones que nuestros propios estudiantes sostienen sobre el concepto de energía se ha elaborado un cuestionario que incluye seis *ítems* de diferentes tipos. Las preguntas están basadas en algunos de los instrumentos reseñados en la bibliografía, lo que nos ha permitido llevar a cabo contraste con esas investigaciones, a la vez que detectar algunas de las posibles diferencias debidas al contexto.

El cuestionario ha sido respondido por 40 alumnos y alumnas de 2º de BUP, antes de que comenzaran el estudio de la Energía contemplado en los actuales programas de Bachillerato.

Seguidamente, como paso previo al análisis de las respuestas, describiremos algunas características de cada una de las cuestiones.

En la primera, se pide a los alumnos que asocien el concepto de energía con las tres primeras palabras que les vengan espontáneamente a la mente. Se obtiene así una primera aproximación a los significados que los estudiantes atribuyen a dicha noción. Para intentar averiguar el porqué de tales asociaciones se invita a los estudiantes a que unan cada pareja de términos relacionados mediante una frase.

La segunda requiere de los alumnos la definición de la noción de energía, trabajo y calor. A pesar de que es difícil distinguir si la respuesta refleja una verdadera comprensión o un simple aprendizaje memorístico, estas dos preguntas, vistas en conjunto, sí que nos permiten un cierto acercamiento al conocimiento previo de los alumnos y las alumnas.

Las dos siguientes se centran en el terreno de las aplicaciones de dichos conocimientos. En efecto, la tercera intenta comprobar si los estudiantes son capaces de aplicar el principio de conservación de la energía a un proceso mecánico sencillo o si, por el contrario, prefieren emplear las nociones procedentes de su experiencia cotidiana.

En la cuarta cuestión se les pide que describan un proceso algo más complicado, utilizando, al menos una vez, las nociones de energía, fuerza y trabajo. Se trata de ver si están en condiciones de delimitar tales conceptos. También se intenta profundizar en su concepción acerca de los procesos de conversión de la energía, así como en las formas de energía que manejan de un modo habitual.

La quinta pregunta va un poco más allá y en ella se pretende determinar si los estudiantes saben que no todas las formas de energía tienen el mismo valor; esto es, si conocen el concepto degradación de la energía y su relación con la tan traída y llevada crisis energética.

Por último, en la sexta cuestión, se les presenta una serie de situaciones con el fin de que razonen si existe o no, energía en ellas. Con esta actividad, se persiguen dos objetivos. De un lado, determinar los criterios que muestran nuestros alumnos para asignar la presencia de energía; de otro, verificar cuáles de los esquemas conceptuales de Watts son utilizados en las argumentaciones que desarrollan.

Cuestión 1

En esta pregunta se trata de que encuentres algunas palabras que tengan relación con el concepto de energía.

(a) Escribe las tres primeras que se te ocurran.

(b) Une el término energía y cada una de las palabras anteriores formando tres frases con las que estés de acuerdo.

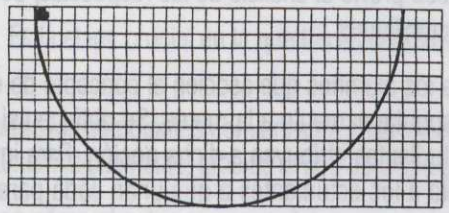
Cuestión 2

Explica qué significan para ti los siguientes conceptos: energía, calor y trabajo.

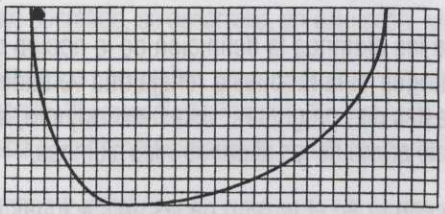
Cuestión 3

En las tres gráficas de la figura, una bola se deja caer y rueda por los carriles señalados. Se supone, en los tres casos, que se ha eliminado el rozamiento. Indica hasta qué punto llegará la bola, explicando tu contestación.

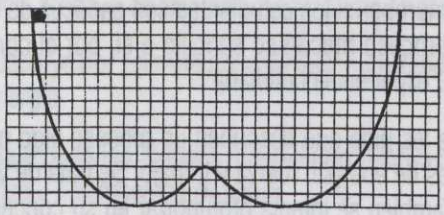
(a)



(b)



(c)



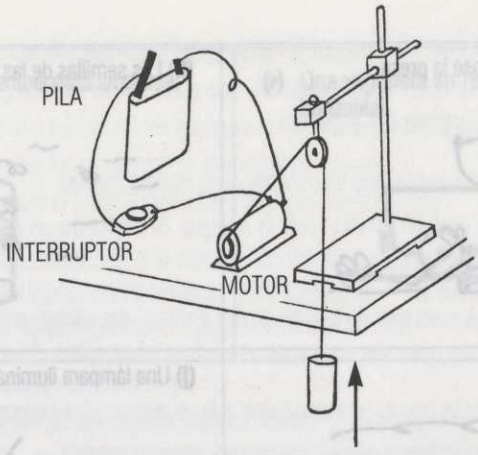
Cuestión 4

Al darle al interruptor de la figura se observa que la pesa asciende.

(a) Describe el proceso que ha tenido lugar empleando, al menos una vez, las palabras energía, fuerza y trabajo.

(b) ¿De dónde procede la energía que hace que el dispositivo funcione?

(c) Indica los cambios de energía que se han producido.



Cuestión 5

Los científicos están empeñados en afirmar que la energía no se destruye o, en otras palabras, que después de finalizar un proceso, la energía total es siempre igual a la energía con la que se inició el mismo.

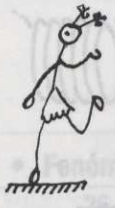
a) ¿Cómo te explicas, entonces, la preocupación, frecuentemente expresada en los medios de comunicación, respecto al «consumo de energía»?

b) ¿Cómo puede existir una «crisis energética» cuando la energía siempre se conserva?

Cuestión 6

Los dibujos que se muestran a continuación representan distintas situaciones. Indica si existe o no energía en cada uno de los casos. Razona brevemente las respuestas.

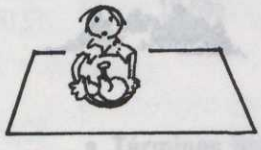
(a) Una gimnasta realizando piruetas en el suelo.



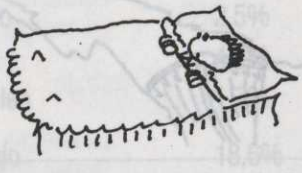
(b) Ana dejándose llevar por la corriente del río Ebro.



(c) Pepote zampándose una suculenta comida.



(d) Zacarías durmiendo en su cama.



(e) Una planta.



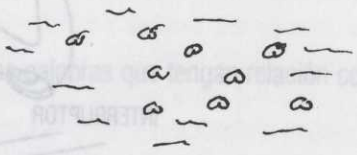
(f) Un león persiguiendo a su presa.



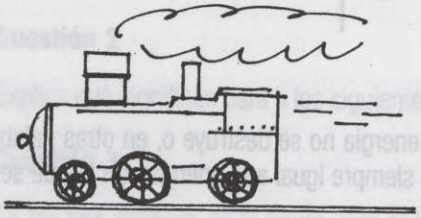
(g) El mismo león comiéndose la presa.



(h) Las semillas de las plantas arrastradas por el viento.



(i) Un tren en marcha.



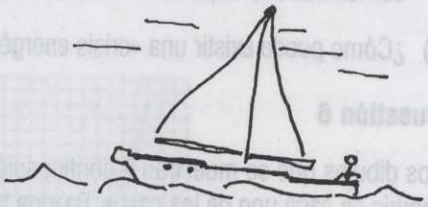
(j) Una lámpara iluminando la habitación.



(k) Una escultura de piedra.



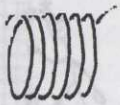
(l) Un velero empujado por el viento.



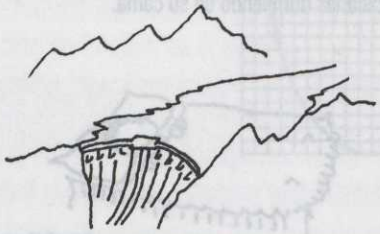
(ll) Un trozo de carbón.



(m) Un muelle comprimido.



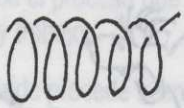
(n) El agua de un embalse.



(ñ) Un montón de cenizas.

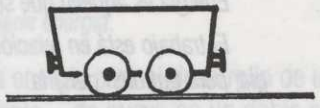


(o) Un muelle distendido.



(p) Un recipiente con agua caliente.



(q) Un recipiente con agua a temperatura ambiente.	(r) Una vagoneta en reposo sobre una superficie horizontal.
	

Análisis de las respuestas

Cuestión 1

a) En la corrección de esta pregunta se han utilizado las categorías establecidas por Duit (1984). Las asociaciones se han clasificado en uno de los siguientes grupos: *fenómenos; seres u objetos; términos físicos; procesos y otros.* Dentro del primer grupo se incluyen conceptos como luz, calor, electricidad. En el segundo, seres humanos o cualquier otro ser vivo, aparatos, plantas industriales, etc. En el tercero, correspondiente a términos físicos, se incluyen unidades, fórmulas, términos como trabajo, fuerza, etc. En el cuarto, actividades físicas o mentales. Por último, se ha incluido un quinto apartado donde se tienen en cuenta las palabras no consideradas en las categorías anteriores.

Las respuestas se recogen en la *Tabla 1.* Los resultados globales —por categorías— no difieren en exceso de los obtenidos por los estudiantes alemanes y filipinos del trabajo citado. Efectivamente, la categoría que presenta un porcentaje mayor de apariciones en los tres casos, es la de términos físicos. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que los conceptos más unidos a la energía por nuestros estudiantes, son los de fuerza y calor, mientras que los alumnos y las alumnas de los otros países mencionados se refieren preferentemente a formas de energía.

Tabla 1: Cuestión 1 (a)

• **Fenómenos:** 25,4%	Electricidad	8,5%
	Calor	16,1%
	Luz	0,8%
• **Seres u objetos:** 18,6%	Sol	6,8%
	Viento	2.5%
	Agua	4,2%
	Petróleo	1,7%
• **Términos físicos:** 40,6%	Trabajo	18,6%
	Fuerza	15,3%
	Fuentes de energía	2,5%
• **Procesos:** 14,4%	Movimiento	3,9%
	Actividades físicas	6,8%
• **Otros:** 0.9%		

b) En este apartado —*Tabla 2*—, hemos apreciado una notable confusión entre los conceptos que acabamos de señalar. Así, mientras que para unos la energía es el origen del trabajo, para otros éste es la causa de aquélla.

> *Energía es aquello que se necesita para realizar trabajo.*
>
> *El trabajo está en relación con la energía. Si se realiza un trabajo, se puede gastar la energía; pero también ganarla.*

Si en unos casos la energía da lugar a una fuerza; en otros, es la fuerza la que origina la energía e, incluso, hay quienes consideran ambos conceptos equivalentes.

> *La energía es una fuerza resultante que aparece en los cuerpos al aplicar calor.*
>
> *Trabajo es la fuerza que se aplica para obtener energía.*

Parece claro, pues, que la enseñanza que haya podido tener lugar antes del cumplimiento de este cuestionario no ha logrado delimitar el sentido de cada una de estas nociones, sino que, por el contrario, ha derivado en una total confusión: los significados están entremezclados y los conceptos se utilizan de un modo totalmente arbitrario. Este es uno de los problemas más graves que presenta la introducción en forma operativa de la energía como la capacidad para realizar trabajo, puesto que la noción de trabajo y la de fuerza, directamente relacionada con ésta, tampoco son utilizados correctamente por la mayoría de los y las estudiantes. Lo único que lograríamos con esta secuencia tradicional, trabajo-energía-etc., sería trasladar el problema de la precisión conceptual de una idea a otra.

Tabla 2: Cuestión 1 (b)

• **Fenómenos:**		
Electricidad:	25,0%	
Forma de energía que se utiliza		10,0%
Calor:	47,5%	
Produce energía		20,0%
Es producido por la energía		17,5%
• **Seres u objetos:**		
Son consideradas como fuentes de energía		12,5%
• **Términos físicos:**		
Fuerza:	40,0%	
Origen de la energía		12,5%
Equivalente a la energía		7,5%
La energía es la causa de la fuerza		12,0%
Trabajo:	57,5%	
La energía es el origen del trabajo		32,5%
Origen de la energía		22,9%
• **Procesos:**		
Actividad física:	17,0%	
Movimiento:	17,5%	
La energía es el origen del movimiento		5,0%
El movimiento causa de la energía		6,9%
El movimiento implica energía		5,0%

Exactamente lo mismo sucede con el calor, que tanto es producido por la energía como da lugar a ésta.

El calor es una forma de energía para que suba la temperatura.
Aplicando calor a un cuerpo se aumenta su energía.
Para aumentar el calor de un motor hay que darle energía.

Cabe citar, por último, la referencias a la necesidad de la energía para el desarrollo de una actividad física, y una cierta asimilación entre energía y movimiento —de nuevo en un doble sentido: al moverse se produce energía, la energía es el origen del movimiento—.

Al moverse se produce energía
El movimiento de los objetos implica consumo de energía.

Cuestión 2

Tabla 3: Cuestión 2

• **Energía:**		
Relacionado con el concepto de fuerza:	45,0%	
— fuerza para hacer trabajo		12,5%
— fuerza que poseen los cuerpos que se mueven		5,0%
— equivalente a fuerza		5,0%
Como causa:	37,5%	
— de trabajo		25,0%
Ligado a las fuentes de energía:	2,5%	
Existencia de varios tipos que se transforman entre sí:	2,5%	
• **Calor:**		
Relacionado con la energía:	80,1%	
— clase de energía		28,6%
— origen de la energía		22,9%
— efecto de la energía		14,3%
— cantidad de energía de un cuerpo		5,7%
— otros		28,5%
Relacionado con la temperatura:	17,3%	
— temperatura de un cuerpo		5,7%
— sensación fisiológica/ aspecto ambiental		11,6%
Relacionado con el termómetro:	2,9%	
• **Trabajo:**		
Relacionado con la energía:	40.0%	
— efecto de la energía		17,5%
— causa de la energía		7,5%
Relacionado con la fuerza:	20,0%	
— fuerza para hacer algo		15,5%
Relacionado con la actividad humana:	32,5%	
— esfuerzo		20,0%
— actividad de las personas		12,5%
Otros:	7,5%	

Las definiciones se han agrupado en cuatro categorías como puede verse en la *Tabla 3*. Otra vez se aprecian las íntimas relaciones entre los conceptos de energía, fuerza y trabajo. De hecho, para definir un concepto necesitan recurrir a los otros; pero sin precisar ninguno de ellos. Seguidamente, al intentar definir alguno de éstos, tienen que echar mano del primero, incurriendo en frecuentes tautologías.

El problema, tal como sucedió en el siglo XIX, es que los significados de dichas nociones se encuentran profundamente «revueltos» en las mentes de los estudiantes. El intento de precisarlos en edades muy tempranas —en 7º y 8º de EGB— sólo conduce a una mayor confusión.

Aunque esto no significa que haya que dejar de buscar estrategias de enseñanza más eficaces, que produzcan además el necesario desarrollo cognitivo, parece claro que algunos conceptos físicos comportan tal dificultad y tal grado de abstracción que se hace necesario un replanteamiento sobre la insistencia de introducirlos con su significado científico en los primeros cursos de la enseñanza. Una revisión de las célebres taxonomías de Shayer y Adey (1984), a menudo rechazadas por su adscripción piagetiana, permitirían relativizar los objetivos educativos que, sólo al alcance de una minoría de la población escolar, se presentan como metas para el conjunto de la misma.

Cuestión 3

Destacan dos hechos: por un lado, el escaso número de aciertos en los apartados (b) y (c); por otro, la prácticamente nula aplicación del principio de conservación de la energía. Incluso en el caso (a) la mayoría de los estudiantes que consideran que la bola alcanza la misma altura que la posición inicial aportan consideraciones geométricas, para justificar este hecho.

Utilizan el vocablo fuerza, otra vez alejado del sentido newtoniano y próximo a la teoría del ímpetus, donde la fuerza se encuentra contenida en el cuerpo. En este sentido, la argumentación utilizada por un buen número de alumnos y alumnas para justificar que la bola no alcanza la misma altura está basada en la pérdida de fuerza o impulso.

> *No sube hasta arriba ya que en el primer trayecto, al bajar, lo hará con mucha fuerza, que irá gastando al subir y no tendrá suficiente como para llegar al punto más alto.*

Lo más destacable es el recurso a los razonamientos de carácter geométrico: simetría en el caso de alcanzar la misma altura,

> *Al dejar caer la bola, primeramente bajará y luego sube hasta arriba ya que la forma simétrica que tiene le permite a la bola subir.*

y disimetría en el caso de que la bola llegue a una altura menor o la sobrepase. Ambas argumentaciones se pueden considerar, en este contexto, como pertenecientes a la esfera de los problemas cotidianos, más que a la científica.

> *La bola baja, y subirá sólo hasta la mitad puesto que la inclinación con que baja es muy grande pero el camino de bajada es más largo que el de subida.*
>
> *No sube hasta arriba ya que en el primer tramo, que está más inclinado gana fuerza pero no la suficiente como para subir hasta arriba, ya que es más largo el segundo camino.*
>
> *Llegará sin problemas a la primera subida, donde debido al montículo pierde velocidad y no tiene ya fuerzas para subir por la segunda curva.*

Una vez más se aprecia la confusión, en la mayoría de las respuestas, entre fuerza y energía.

Tabla 4: Cuestión 3

Respuestas correctas:

(a) 62,5%
(b) 5,0%
(c) 5,0%

Argumentación mediante los conceptos o palabras:

(a)

— Energía	2,5%
— Fuerza	20,0%
— Simetría	64,0%

(b)

— Energía	5,0%
— Fuerza	7,5%
— Disimetría	63,2%

(c)

— Energía	2,5%
— Fuerza	15,0%
— Argumentos geométricos	50,0%

Cuestión 4

Tal como se ve en la *Tabla 5,* y como se ha constatado en las cuestiones anteriores, los estudiantes siguen utilizando con gran imprecisión los conceptos de energía, fuerza y trabajo.

La pila genera energía que pasa al motor a través de los cables. El motor hace fuerza y esta fuerza realiza trabajo para subir la pesa.

Tabla 5: Cuestión 4

Energía:	
La pila es la fuente que genera la energía que pasa al motor	75,0%
Fuerza:	
El motor hace fuerza para elevar la pesa	57,5%
Trabajo:	
El motor realiza trabajo para subir la pesa	62,5%
La fuerza realiza trabajo para subir la pesa	12,5%
El motor hace trabajo al moverse el rodillo	5,0%

En el apartado **(a)** un gran número de alumnos describe el proceso que tiene lugar partiendo de la energía que genera la pila, que la transmite al motor, realiza trabajo (o fuerza) y provoca la ascen-

sión de la pesa. No obstante, esta última circunstancia rara vez es tenida en cuenta en el apartado (c) como un proceso de conversión de energía.

A pesar de que durante los últimos cursos de EGB han oído hablar de conceptos científicos, tales como energía cinética y potencial, los alumnos en sus descripciones, utilizan términos más cotidianos, como energía motora, energía de la pila, etc.

> *La energía eléctrica se transforma en motora producida por el motor.*
>
> *La Energía eléctrica de la pila produce un calentamiento en el motor y produce energía para levantar la pesa*

Cuestión 5

La mayor parte de los alumnos y las alumnas relacionan la crisis energética con el agotamiento de las fuentes más habituales (petróleo, carbón, etc.) *(Figura 6).*

> *La crisis energética se refiere al agotamiento de las fuentes como el carbón, petróleo,...*
>
> *Existe una crisis energética porque las fuentes de energía, como el petróleo, el gas natural, carbón, entre otros, se gastan y se transforman y luego se vuelven a transformar y al final ya no se sabe dónde se encuentra la energía y cómo volver a utilizarla.*

Tabla 6: Cuestión 5

Agotamiento de las fuentes de energía	57,5%
Degradación de la energía	12,5%
Uso no racional de la energía	10,0%
NS/NC	12,5%

No obstante, y a diferencia de lo que sucede en otros países, un 12,5% de estudiantes se refieren a la degradación de la energía, haciendo constar que, en sus procesos de transformación, hay algunas formas que ya no son utilizables.

> *La energía se consume; pero lo que pasa es que, en su transformación, al intentar utilizar de nuevo esa energía, la podemos emplear en menor medida.*

Es posible que esta cuestión haya sido discutida en alguna otra asignatura, ya sean las Ciencias Naturales de 1º o las del área de Ciencias Sociales de 1º y 2º. También es destacable el hecho de que otro 12,5% no responda a la pregunta.

Otro aspecto relevante lo constituye la escasa sensibilidad que buen número de alumnos y alumnas muestra hacia la crisis energética, llegando incluso a considerarla como una invención de los medios de difusión.

> *La energía no se destruye, pero necesita un proceso de recuperación; ahora, gracias a los adelantos con que todos disponemos en los hogares, el consumo de energía es cada vez mayor, y también mayor el tiempo que tarda la energía en volver a ser como antes. Por otro lado, puede que lo de tanta crisis energética no sea más que un recurso publicitario para favorecerse y convencer a los espectadores u oyentes que están por la labor de salvar la tierra de los humanos. Ya que en la mayoría de estas afirmaciones, la exageración es un factor importante.*

Yo pienso que los medios de comunicación se expresan mal, pues lo que se consume son los elementos (carbón, electricidad, etc.) que producen dicha energía. No hay crisis de energía, sino crisis de elementos que producen energía...

Cuestión 6

Nuestra primera preocupación ha consistido en identificar los factores que hacen que los alumnos y las alumnas contesten afirmativamente a esta cuestión. Se han diseñado una serie de situaciones que incluyen cuatro criterios: *ser vivo-no vivo, ser humano-no humano, movimiento-no movimiento y actividad-no actividad*. De las distintas combinaciones por parejas que pueden hacerse —cuatro para los dos primeros criterios y seis para los dos últimos— se desprende, como se observa en la *Tabla 7,* que sólo existen diferencias significativas en el último de los casos, esto es, los y las estudiantes tienden a decir que hay energía en aquellas situaciones en las que el sujeto desarrolla una actividad. Sin embargo, la respuesta positiva no está condicionada por la presencia de seres vivos, humanos o no, o de movimiento, ya que las alternativas en las que aparecen tales factores son elegidas con frecuencias similares.

Tabla 7: Cuestión 6

PORCENTAJES DE RESPUESTAS	
Vivo/no vivo	**Hombre/no hombre**
(a) 100 (i) 100	(a) 100 (f) 100
(c) 80,0 (j) 92,5	(c) 80,0 (g) 80,0
(b) 30,0 (l) 45,0	(b) 30,0 (h) 32,5
(d) 17,5 (k) 0,0	(d) 17,5 (e) 65,0

Movimiento/No Movimiento		**Actividad/No Actividad**		
Humano	No humano	Vivo-humano	Vivo-no humano	No vivo
(a) 100 (c) 80,0	(i) 100 (j) 92,5	(a) 100 (b) 30,0	(f) 100 (h) 32,5	(i) 100 (e) 65,0
(b) 30,0 (d) 17,5	(l) 45,0 (k) 0,0	(c) 80,0 (d) 17,5	(g) 80,0 (e) 5,0	(j) 92,5 (k) 0,0
	(h) 32,5 (e) 65,0			
	(f) 100 (g) 80,0			

En cuanto a los esquemas alternativos que presentan los alumnos, de acuerdo con la clasificación de Watts (pp. 44 y 45), se observa que:

— Todos los estudiantes presentan los esquemas **2b, 4** y **5**.

Existe energía ya que está realizando un trabajo (refiriéndose a la bailarina); o, sí existe energía ya que produce electricidad.

Sí tiene energía porque está realizando una actividad. (Refiriéndose a la bailarina y al león detrás de su presa); o no tiene energía porque está en reposo, inactivo (Refiriéndose a Zacarías durmiendo)

Se produciría energía cuando se calienta; o el agua del embalse, al dejarse caer produce energía.

— Los esquemas **1, 3** y **6** raramente aparecen.

— Las nociones **7a** y **7b** no han surgido en ningún caso.

Desarrollo de la Unidad didáctica

Programa de actividades

En esta Unidad vamos a estudiar una de las ideas más importantes de la Física: el concepto de energía. Con el paso de los tiempos, esta palabra ha tenido diversos significados. Desde que se vislumbró, por primera vez, con Huygens, hasta que se estableció en su forma actual, con Clausius y muchos otros, transcurrieron alrededor de dos siglos. La historia de la energía, y la de su ley de conservación, ha sido pues larga y complicada.

Hoy en día, las aplicaciones de la energía son innumerables. Casi todos los aparatos la necesitan para su funcionamiento. Nuestra vida cotidiana está llena de «minicrisis energéticas»: las pilas del walkman que se acaban, la «luz» que se va y nos deja colgados frente al ordenador, ...

No debe extrañarnos, por lo tanto, que en un curso de Ciencias de la Naturaleza haya que reservar un cierto período de tiempo al estudio de la energía y de las nociones relacionadas con ella.

La lista de «manjares» que te proponemos es la siguiente:

1. Introducción

2. Aproximación cualitativa al concepto de energía

- ¿Qué es esa cosa llamada energía?
- La energía se transfiere
- La energía se presenta en diversas formas
- La energía se conserva
- La energía se degrada

3. Profundización en el concepto de energía

- Trabajo, trabajo, trabajo
- Potencia
- Energía asociada al cambio de posición
- Energía asociada al movimiento
- Formulación de la ley de conservación de la energía en un caso sencillo
- Calor y temperatura
- Rendimiento energético

4. La energía en nuestro mundo

Comentarios

En la elaboración de esta Unidad se ha pretendido realizar un trabajo bien fundamentado desde el punto de vista teórico. Nuestra intención ha sido, precisamente, que los materiales estén «impregnados» de algunas de las propuestas sugeridas por la investigación en la didáctica de las ciencias —incluida nuestra propia y modesta experiencia—, así como de los principios metodológicos que se han resumido con anterioridad. De todo este bagaje científico nos interesa resaltar ahora dos aspectos de índole general.

En primer lugar, a la hora de introducir los distintos conceptos, se parte siempre de las ideas previas de los estudiantes. Se han diseñado actividades que permiten poner en práctica el siguiente esquema: explicitación de tales concepciones, toma de conciencia y, por fin, generalización o desarrollo de las mismas hasta llegar —o acercarse, según el caso— a las nociones científicamente aceptadas. Es importante que el profesorado tenga *in mente* esta secuencia de trabajo a la hora de organizar la clase.

En segundo término, este tipo de Unidad implica que los alumnos y las alumnas han de pasar la mayor parte del tiempo discutiendo en pequeños grupos de 3 ó 4 componentes. El profesor ha de iniciar y coordinar la tarea, tratando de mantener un ritmo tal que permita la necesaria discusión y que no derive en el aburrimiento. La mayor parte de las actividades requieren esta estrategia.

Además, hay otros tres tipos de actividades que incluyen información (presentada dentro de un recuadro): las que pretenden resumir las conclusiones de las actividades anteriores, las que incluyen un comentario de texto y aquellas en las que se introducen determinados conceptos, leyes o teorías. En estas últimas lo más razonable es que el profesor proceda a su explicación oral, al término de la cual los alumnos discutirán, de nuevo en grupo, las cuestiones que se sugieren.

En lo que a los contenidos se refiere, la Unidad se ha dividido en tres grandes bloques. En el primero, a partir de las ideas previas de los estudiantes, se lleva a cabo una aproximación cualitativa al concepto de energía. Éste se introduce caracterizando, paso a paso, sus principales propiedades: transferencia, conversión, conservación y degradación. Se ha optado, pues, por iniciar la secuencia didáctica con el concepto más general y explicativo, la energía, para, en el siguiente apartado, derivar las nociones relacionadas con él.

Así, en el segundo bloque se profundiza en el concepto de energía, mediante la introducción de las nociones de trabajo y calor. Desde las concepciones intuitivas del alumnado se intenta llegar —lo cual no es nada fácil en estas edades— a la idea de que ambos son formas distintas de medir la transferencia de energía entre sistemas. En este apartado se trabajan diversos procedimientos propios del quehacer científico, a la vez que se procura que los sujetos conozcan algo más acerca de qué y cómo se hace la ciencia.

En el tercer y último bloque, se aborda uno de los temas más en boga en el enfoque Ciencia—Tecnología—Sociedad: las fuentes de energía. Una vez que los alumnos tienen a su disposición el marco teórico adecuado, se trata de que analicen los aspectos tecnológicos y, sobre todo, sociales de la ciencia. Ésta es una buena ocasión para profundizar en los contenidos del ámbito de las actitudes.

1. Introducción

Actividad 1

En el mes de junio de 1992 se celebró en Río de Janeiro la «Cumbre de la Tierra» o Conferencia de las Naciones Unidas para la Ecología y el Desarrollo. Su objetivo residía en elaborar estrategias políticas y económicas que eviten una degradación irreversible del medio ambiente planetario.

De la importancia de tal acontecimiento dan cuenta las cifras de personalidades e instituciones asistentes: 143 delegaciones gubernamentales, 50 misiones de organismos internacionales, 300 organizaciones no gubernamentales y más de 2.000 periodistas. La prensa española se hizo, claro está, amplio eco del evento. Como muestra, valga la página del diario *El Mundo* que se recoge a continuación. ...Échale un vistazo y discute con tus compañeros y compañeras de grupo las cuestiones que se hacen al final.

a) ¿Cuáles de las situaciones citadas tienen algo que ver con la energía?

b) ¿Cuál te ha sorprendido más? ¿Por qué?

c) ¿Qué te sugiere le lectura de los distintos fragmentos?

Comentarios

Esta es una actividad de «orientación». Quiere llamar la atención y despertar el interés de los alumnos y las alumnas sobre el tema que se va a estudiar. Para resaltar la importancia del mismo, así como sus repercusiones sociales, se ha optado por una introducción periodística y actual. Las cuestiones propuestas pueden dar lugar a un animado debate en la puesta en común. Finalizada ésta, conviene mostrarles un somero esquema de la Unidad, insistiendo en dos aspectos: que se va a partir de sus propias ideas y que, una vez revisados los contenidos científicos, al final de la Unidad, se intentarán aportar algunas respuestas a los problemas planteados en el recorte de prensa.





25.000

TORTUGAS

más caen cada año víctimas de las diferentes artes de pesca en el mar Mediterráneo.

12.000

FARMACOS

«diferentes» se comercializan en nuestro país, y ello a pesar de que la Organización Mundial de la Salud ha demostrado fehacientemente que no se necesitan más de 200 medicamntos para tratar todos los casos, excepto en raras ocasiones.

260

ESPAÑAS

es el tamaño de la corteza terrestre, es decir, la tierra que asoma por encima del agua. En total supone 134 millones de kilómetros cuadrados.

6%

DE LOS BOSQUES

desaparecerá si se producen los cambios climáticos previstos, mientras que aumentará un 25 por ciento el espacio de las praderas, con especial incidencia en los grandes bosques boreales de coníferas. Pese a todo, el crecimiento de la población mundial es la causa de alrededor del 79 por ciento de la deforestación del planeta.

500.000

INDIGENAS

escasos es el censo actual de la población autóctona del Amazonas. Existen estudios fiables que calculan que su número en el año 1500 era superior a los 5 millones de personas.

79%

DEL ACERO

y el 85 por ciento del papel es consumido por tan sólo el 23% de la población mundial, aquella que reside en los países industrializados. La proporción que corresponde en energía al 77% del planeta que no pertenece al Occidente desarrollado es el 20%. Si en 1965 el 70% del Producto Nacional Bruto correspondía a los países más ricos y el 19% a los países en desarrollo, en 1989 la relación ha empeorado hasta un 73%-16%.

37.000

OJIVAS

nucleares es el cálculo estimado del potencial destructivo mundial. Otros cálculos hacen subir la cifra hasta las 50.000, con una potencia sumada que oscila entre 846.000 y 1.540.000 bombas de Hiroshima.

1

BOMBILLA

de 100 watios en cada casa y oficina de España cambiada por una de larga duración y ahorro energético permitiría acumular electricidad suficiente para cerrar una central térmica de 2.000 megavatios. El 40% de la energía doméstica podría ahorrarse con un uso racional de los electrodomésticos.

40

VECES

más radiactividad quedó liberada en el accidente de la central nuclear de Chernobil que en las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki. De las 150.000 personas que resultaron afectadas, muchas morirán en los próximos años.

3.000

COLMILLOS

de elefante se «recolectan» semanalmente en el planeta. La población de elefantes en Africa ha disminuido de 1.300.000 ejemplares en 1979 a 609.000, a consecuencia del furtivismo. En el año 2000, el elefante africano puede convertirse en un animal que sobreviva sólo en los parques zoológicos.

100.000

ANIMALES

son empleados anualmente en Estados Unidos para experimentar artículos de cosmética. Gran Bretaña, el país de la Comunidad Europea que le sigue, mata a más de 21.000 en los mismos experimentos.

15.000

TONELADAS

de tierra, 60.000 en caso de yacimientos más pobres, es necesario remover para facilitar el uranio que necesita una central nuclear de 1.000 megavatios de potencia. La potencia instalada hoy en centrales nucleares de todo el mundo ronda los 400.000 Mw, lo que supone 11 veces menos que las previsiones oficiales hechas sobre las posibilidades nucleares en los años 70.

$

500.000 MILLONES

de dólares podrían ser ahorrados en los presupuestos militares tras el fin de la Guerra Fría. El punto final al enfrentamiento Este-Oeste podría permitir la reducción del 50% de los gastos destinados a los presupuestos militares del planeta, liberando al menos 50 billones de pesetas.

542

EMPLEOS

crea una central de energía cólica, mientras que una central nuclear genera 100 puestos de trabajo, una estación geotérmica 112, la térmica de carbón 116 y la solar alcanza los 248 trabajadores, siempre teniendo en cuenta la misma producción energética.

6.000

MILLONES DE DOLARES

genera anualmente el comercio de animales protegidos, como elefantes, focas, gorilas, ballenas...

88%

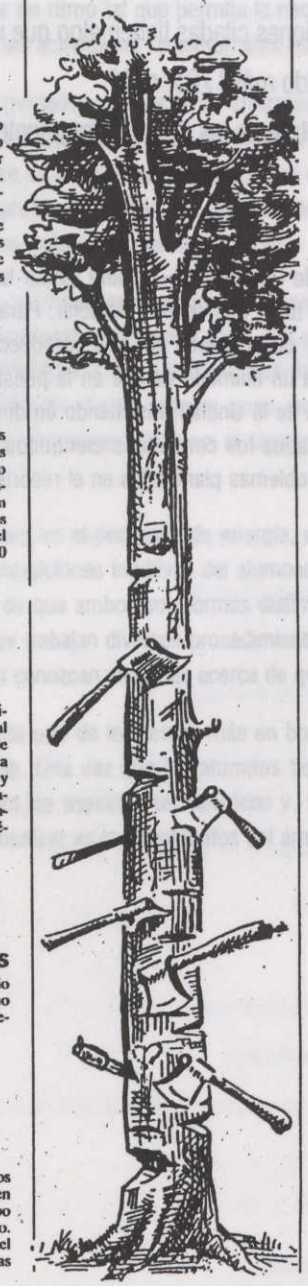
DE LOS RESIDUOS

industriales tóxicos y peligrosos que se producen anualmente en España se vierten sin ningún tipo de control sanitario o ecológico. En nuestro país, el 70% del millón de toneladas recogidas para reciclaje en los últimos años lo recuperaron personas individuales en gestiones realizadas de puerta en puerta.

5

VECES

se deberá incrementar el uso de fertilizantes en los próximos 25 años para responder a las crecientes necesidades de alimentos de la población mundial, con los consiguientes problemas de contaminación de aguas y suelos. En las próximas cuatro décadas, la Humanidad deberá producir tres veces más alimentos de los que se producen ahora.



21%

CAMBIO CLIMATICO

en la última década ha sido provocado por Estados Unidos. La antigua URSS ha «colaborado» con un 14 por ciento, porcentaje idéntico a los daños causados por la Comunidad Europea. China ocupa el cuarto puesto en la tabla de naciones contaminantes, con un 7 por ciento, y Brasil y la India le siguen con el 4 por ciento cada uno. El CO_2 es el principal gas que contribuye al efecto invernadero con un 56%, le siguen los CFCs con el 24% y el metano con el 15 por ciento.

20%

DEL BOSQUE

español es el equivalente de la masa forestal que ha ardido en nuestro país desde el año 1961. España es el tercer país del mundo en cuanto a extensión de terreno quemado, por detrás de USA y Canadá, pero por delante de Brasil. En los últimos 10 años se han quemado en España 2,5 millones de hectáreas, es decir, un 5% del territorio. El 18% del suelo español sufre una erosión de alta intensidad, aunque la superficie total afectada llega al 60%.

XVI

VELOCIDAD

En el siglo XVI las carretas circulaban en Madrid a una media de 16 kms por hora. Actualmente, la velocidad promediada en la capital de España, en automóvil, es de 11 kms por hora. En 1890, el 80 por ciento de las distancias se recorría a pie, en bicicleta o a caballo; actualmente no llegan al 3 por ciento. Y del 97% restante cuatro quintas partes se efectúan en coches particulares.

11%

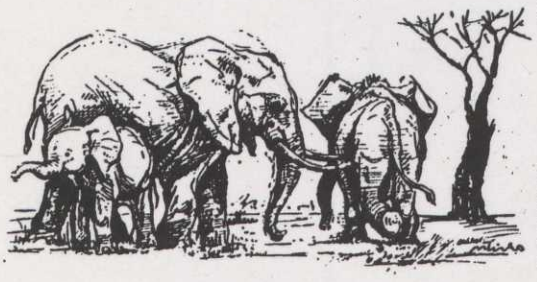
DEL PLANETA

se encuentra dedicado a las labores agrícolas aunque se calcula que la superficie potencialmente cultivable es el doble. La expansión mal planificada del uso agrícola y ganadero de la superficie de la Tierra ha supuesto la disminución de una tercera parte de la extensión original de los bosques del mundo.

15

KILOMETROS

es la distancia de seguridad mínima para no ser cegado, temporal o permanentemente, por el destello lumínico originado por la explosión de una bomba nuclear. El estallido ocasiona una esfera de aire comprimido que se extiende a la velocidad del sonido (330 metros por segundo) y genera un efecto huracán de 300 km/hora.



Fuente: *El Mundo*, 3 de junio de 1992.

2. Aproximación cualitativa al concepto de energía

¿QUÉ ES ESA COSA LLAMADA ENERGÍA?

Actividad 2

En esta pregunta se trata de que encuentres algunas palabras que tengan relación con el concepto de energía.

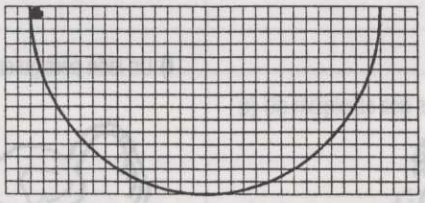
a) Escribe las tres primeras que se te ocurran.

b) Une el término energía a cada una de las palabras anteriores formando tres frases con las que estés de acuerdo.

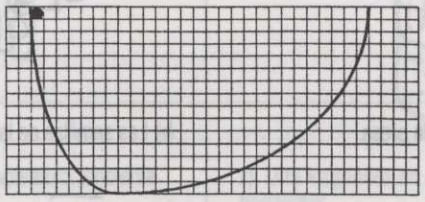
Actividad 3

En las tres gráficas de la figura adjunta, una bola se deja caer y rueda por los carriles señalados. Se supone, en todos los casos, que se ha eliminado el rozamiento. Indica hasta que punto llegará la bola, explicando tu contestación.

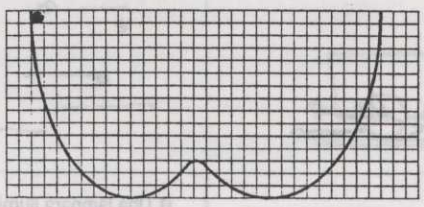
a)



b)



c)



Actividad 4

Los científicos y las científicas están empeñados en afirmar que la energía no se destruye o, en otras palabras, que después de finalizar un proceso, la energía total es siempre igual a la energía con la que se inició el mismo. ¿Cómo explicarías, entonces, la preocupación frecuentemente expresada por los medios de comunicación, respecto al «consumo de energía»? ¿Cómo puede existir una «crisis energética» cuando la energía siempre se conserva?

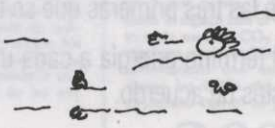
Actividad 5

Los dibujos que se muestran a continuación representan distintas situaciones. Señala si existe o no energía en cada uno de los casos. Razona brevemente las respuestas.

a) Una gimnasta realizando piruetas en el suelo.



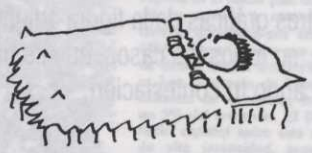
b) Ana dejándose llevar por la corriente del río Ebro.



c) Pepote zampándose una suculenta comida.



d) Zacarías durmiendo en su cama.



e) Una planta.



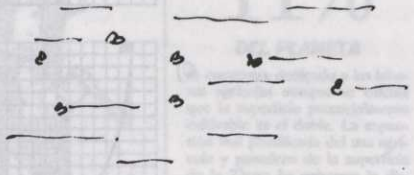
f) Un león persiguiendo a su presa.



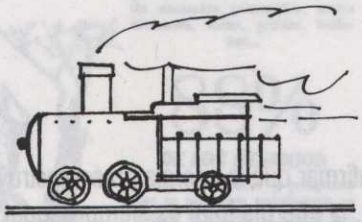
g) El mismo león comiéndose la presa.



h) Las semillas de las plantas arrastradas por el viento.



i) Un tren en marcha.



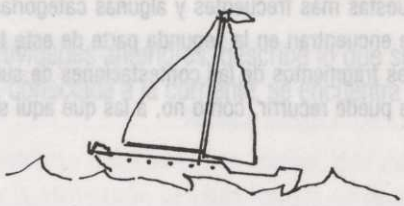
j) Una lámpara iluminando la habitación.



k) Una escultura de piedra.



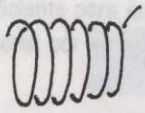
l) Un velero empujado por el viento.



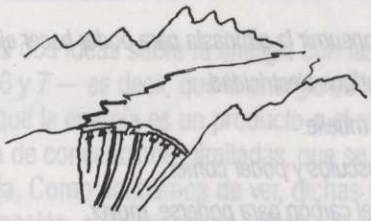
ll) Un trozo de carbón.



m) Un muelle comprimido.



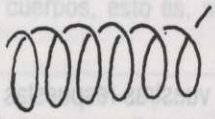
n) El agua de un embalse.



ñ) Un montón de cenizas.



o) Un muelle distendido.



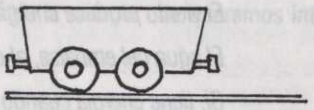
p) Un recipiente con agua caliente.



(q) Un recipiente con agua a temperatura ambiente.



r) Una vagoneta en reposo sobre una superficie horizontal.



Comentarios

Estas cuatro preguntas, que normalmente se contestan, en su conjunto, de forma individual y por escrito (aunque también se pueden resolver en grupo y a través de un intercambio oral de opiniones), tienen la finalidad de que los alumnos y las alumnas hagan explícitos sus propias ideas y modelos.

De los *6 ítems* que contenía el cuestionario elaborado en un principio, se han seleccionado tan sólo cuatro, ya que con ellos se cubre todo el espectro conceptual que consideramos necesario. Las respuestas más frecuentes y algunas categorías de análisis que ayudan en la corrección de las actividades se encuentran en la segunda parte de este trabajo. El equipo de profesores tendrá que seleccionar algunos fragmentos de las contestaciones de sus alumnos para confeccionar las Actividades 6 y 7. También se puede recurrir, cómo no, a las que aquí se han recogido.

LA ENERGÍA SE TRANSFIERE

Actividad 6

A continuación se incluyen algunos de los argumentos que habéis empleado para justificar la existencia o ausencia de energía en las situaciones de la Actividad 5. Léelas cuidadosamente y señala cuál es la característica del concepto de energía que es común a todas ellas.

Sí que existe energía, ya que la tiene que consumir la gimnasta para poder hacer ejercicio.

La lámpara necesita energía para poder producir electricidad.

Hace falta energía para poder comprimir el muelle.

Tiene que tener energía para mover sus músculos y poder comer.

El tren tiene energía, la que le proporciona el carbón para poderse mover.

Actividad 7

Ahora os presentamos otra serie de fragmentos extraídos de vuestras respuestas a la Actividad 5. Si las lees, de nuevo, con sumo cuidado, encontrarás que todas ellas presentan un rasgo en común. ¿De qué característica del concepto de energía se trata?

La gimnasta, al moverse produce energía.

Al alimentarse Pepote, produce energía en su cuerpo.

El viento produce energía.

El agua del embalse, al dejarse caer, produce energía.

Sí, tiene energía cuando se calienta el vaso.

Comentarios

Estas dos actividades pretenden que los estudiantes sean conscientes de sus propios esquemas conceptuales, a partir de fragmentos de las respuestas que han dado al cuestionario previo. En la primera, se trabaja con la noción de «la energía como causa de los procesos». Los alumnos y las alumnas enseguida encuentran la característica común, como se aprecia en la siguiente respuesta: *se necesita energía para hacer algo o para que las cosas funcionen.*

En la segunda, el esquema implicado es el de «la energía como producto». Los distintos grupos tampoco encuentran ahora problemas para completar la tarea: Antes vimos que la energía produce algo. *Digamos que hace que las cosas se muevan, y aquí vemos la energía como un resultado.*

Actividad 8

Teniendo en cuenta las conclusiones de las dos actividades anteriores, describe lo que sucede en la situación **j)** de la Actividad 5, donde una lámpara, conectada a la corriente, se encuentra iluminando una habitación.

Comentarios

Aquí se intenta que los estudiantes den lugar, por sí mismos, a una generalización, es decir, que evolucionen desde sus dos concepciones previas y limitadas a una sola que las englobe. La puesta en común, las contribuciones de los distintos equipos, suele ser suficiente para que las alumnas y los alumnos comiencen a emplear un lenguaje sobre la energía más general; por ejemplo: la lámpara consume energía eléctrica y produce luz y calor.

Actividad 9

Las dos ideas sobre la energía con las que habéis explicado vuestras respuestas, en las Actividades 6 y 7 — es decir, que la energía es la causa de que algunos procesos tengan lugar, y, por otra parte, que la energía es un producto o el resultado de algún proceso— no son incorrectas, sino que se trata de concepciones limitadas, que se centran únicamente en una de las dos caras de la misma moneda. Como acabamos de ver, dichas nociones han de generalizarse para llegar a una primera aproximación, científicamente válida, del concepto de energía. Así, podemos decir que:

> Hay una energía característica para cada fenómeno; siempre que haya una interacción entre dos cuerpos, esto es, siempre que un proceso o cambio tenga lugar, la energía se transfiere.

Comentarios

Esta es una actividad típica en la que se procuran asentar las conclusiones de las actividades anteriores. Este tipo de resúmenes supone, además, una ayuda para los alumnos y las alumnas con mayores dificultades a la hora de seguir el debate y reflejarlo en su cuaderno.

En este caso, se sintetiza la primera de las propiedades de la energía que queremos introducir: la posibilidad que posee de ser transferida.

Actividad 10

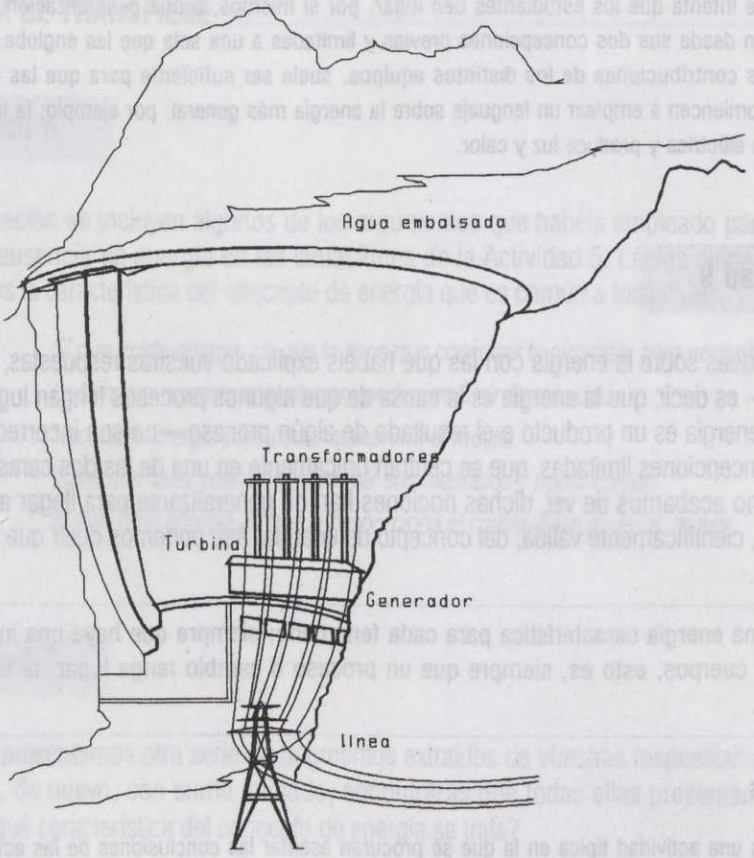
En el apartado **j)** de la Actividad 5 se mostraba una lámpara iluminando una habitación. Indica razonadamente de dónde procede la energía que permite que funcione el aparato.

Comentarios

Aunque algunos estudiantes ya habrán hecho referencia a dicho origen en la Actividad 8, esta cuestión nos va a permitir enfrentarnos con el último preconcepto mayoritario, la asimilación energía–actividad, así como enlazar, más adelante, con la primera aproximación a la conservación de la energía.

Actividad 11

Una parte de la energía que consumimos en nuestros hogares procede de las centrales eléctricas, entre ellas existen varios tipos, uno de los cuales es la central hidroeléctrica cuyo esquema se muestra en la figura adjunta.



Que la energía sea necesaria para que tengan lugar los procesos de transformación o cambio no significa, sin embargo, que haya que asociar la existencia de energía a la presencia de actividad. En muchas ocasiones, como en el agua de un embalse, la energía se encuentra almacenada en una forma útil, de manera que puede ser utilizada posteriormente. Existen diversas formas de almacenar energía: comprimiendo un muelle, mediante una pila o batería, etc.

Señala todos los posibles cambios de energía que se produzcan en el proceso representado en la figura anterior.

Comentarios

La información recogida pone en crisis la concepción de que sólo hay energía en las situaciones en las que aparece cualquier clase de actividad, una vez que los y las estudiantes han pensado sobre una situación que contradice sus respuestas al cuestionario inicial.

La pregunta busca un lazo de unión con la segunda propiedad de la energía que se va a considerar.

Actividad 12

La segunda propiedad de la energía que nos interesa resaltar es, en efecto, que ésta puede aparecer en diversas formas, siendo posible la conversión de unas formas en otras.

Enumera todas las formas de energía que conozcas

Comentarios

Se recoge, del mismo modo que en la Actividad 9, la segunda de las propiedades: la posibilidad de conversión de una forma en otra.

En cuanto a las formas de energía, muchos estudiantes se refieren, en realidad, a fuentes de energía. Hecha la precisión, se puede iniciar ya algún tipo de clasificación de estas últimas: renovables o no, etc.

Actividad 13

Indica, siguiendo el ejemplo que se propone, las conversiones de energía que se producen en los siguientes procesos. (La energía de los seres humanos y de los animales, derivada de los alimentos, es energía química).

- Un timbre eléctrico funciona mediante una pila.

  Cambios de energía: E. química de la pila → E. eléctrica → E. cinética del vibrador → → E. sonora.

- La chica tira la peonza, ésta gira y se traslada, se oye un zumbido y finalmente cae, quedando en reposo.

  Cambios de energía:

- El generador del coche carga la batería, que, más tarde, enciende los faros.

  Cambios de energía:

- José Manuel da cuerda a un tren de juguete y le permite correr a lo largo de los raíles hasta que se le termina la cuerda.

  Cambios de energía:

- Un coche a gran velocidad frena en una carretera llana.

  Cambios de energía:

- Un arquero lanza una flecha a un blanco lejano.

  Cambios de energía:

- El viento mueve las aspas de un molino que acciona una noria, la noria eleva el agua desde un río hasta una acequia que está a un nivel más alto.

Cambios de energía:

- El agua de los embalses cae por grandes conductos y hace girar las paletas de la rueda de una turbina, situada en la parte baja. La turbina acciona un alternador eléctrico, el cual suministra corriente a una estufa eléctrica en la habitación de Marisa.

Cambios de energía:

- El encargado enciende la mecha, la pólvora arde y los gases calientes producidos en el cilindro lanzan hacia arriba una carcasa de fuegos artificiales, la cual da lugar a un bello espectáculo de luz y sonido.

Cambios de energía:

- El reactor nuclear produce vapor a alta presión, el cual hace girar una turbina y ésta mueve a un generador que produce electricidad.

Cambios de energía:

- El átomo de radio emite partículas α, muy rápidas, que chocan con una pantalla fluorescente y producen un leve destello de luz.

Cambios de energía:

- Un rayo de luz entra en el fotómetro de la máquina de un aficionado a la fotografía y la aguja indicadora se mueve en la escala.

Cambios de energía:

Comentarios

Se trata de una actividad de aplicación. Dado el escaso bagaje científico que los alumnos y las alumnas poseen, no nos parece adecuado, todavía, introducir la caracterización de dos únicos tipos de energía: la cinética y la potencial. Fernández Uría (1986) también cuestiona este propósito que, en nuestra opinión, ha de posponerse hasta el Bachillerato.

Por otra parte, el estudio de los procesos de conversión constituye —como de hecho lo fue a principios del siglo XIX— un excelente precursor de la ley de conservación.

LA ENERGÍA SE CONSERVA

Actividad 14

Tener energía es como tener dinero. El dinero sólo es útil cuando lo podemos cambiar por un servicio o por objetos. Del mismo modo, la energía sólo es útil cuando se transfiere.

Cuando la energía se transfiere, nos podemos preguntar dónde ha ido a parar. Un científico interesado en la energía es como un «contable de energía». Un contable hace un balance del estado financiero antes y después de cada negocio; el científico lleva a cabo un balance de la energía inicial y final en cada transferencia. Si éste tiene la precaución de contar toda la energía, llegará a la conclusión de que **la cantidad de energía que hay antes de la transformación es la misma que la que hay después.**

¿A dónde va a parar la energía citada en la Actividad 10?

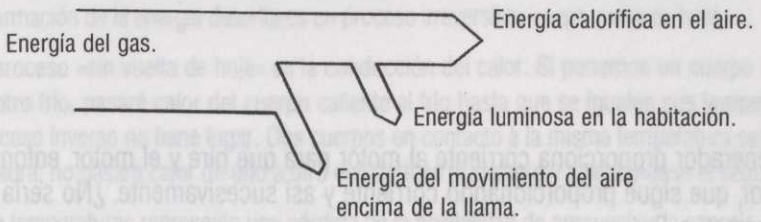
Comentarios

Siguiendo una analogía muy extendida (P.E.I.C.E., 1983; Nuffield, 1989), se introduce la tercera propiedad de la energía, su conservación, como si de un balance financiero se tratara. De momento, se excluyen las referencias al concepto de sistema, a su carácter aislado o abierto, y, en consecuencia, a las distintas formulaciones de la ley. Algunos de tales aspectos se incluirán en el próximo apartado.

La pregunta cierra el puente tendido en la Actividad 10 y permite una visión intuitiva de la conservación.

Actividad 15

Una manera de representar de dónde viene y a dónde se dirige la energía durante un proceso es mediante un **diagrama de flechas.** Por ejemplo: en la combustión del gas en una cocina se calienta el recipiente colocado encima, se ilumina el entorno de la llama y el aire de las proximidades se desplaza hacia arriba. En términos de energía, este proceso se puede representar mediante el siguiente diagrama de flechas.



Observa las dos características más importantes del diagrama:

— Los lados, tanto de la flecha principal como de las que se derivan de ella, son siempre paralelos. Además, la anchura a la entrada de la flecha debe ser igual a la suma de las anchuras de las flechas de salida.

— El centro de atención ha de estar en el origen y el destino de la energía, más que en las distintas clases de energía que aparecen en el proceso.

Siguiendo este ejemplo, elabora los diagramas de flechas de los siguientes procesos:

a) Un coche arrancando cuando el semáforo se pone verde.

b) Un atleta levantando pesas.

Comentarios

Los diagramas de flecha, introducidos en el proyecto CLIS (1987), nos parecen un procedimiento muy interesante para trabajar la idea de conservación, ya ésta queda reflejada de un modo visual y asequible al conjunto de los y las estudiantes.

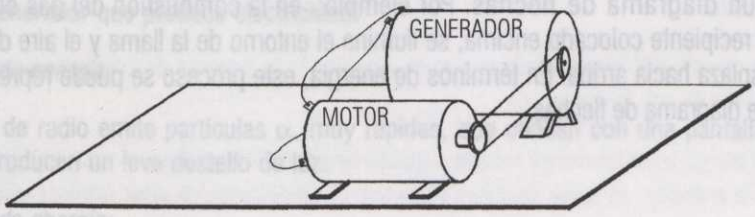
Como paso previo a su construcción, es recomendable que aquéllos describan los dos procesos sugeridos sin utilizar el término energía. Posteriormente, las descripciones podrían plasmarse en el correspondiente diagrama, en el que lo más importante consiste en señalar el origen y el destino de la energía. También resulta interesante plantear una discusión en torno a preguntas como éstas: ¿qué parte de la energía se ha transferido para realizar una tarea útil?, ¿cuál, por el contrario, se ha invertido en algo que no era nuestro interés principal? De esta manera se establece una conexión con el siguiente epígrafe.

Actividad 16

Un «motor perpetuo» es una máquina que proporciona una energía mayor que la consumida para su propio funcionamiento, es decir, una máquina con un rendimiento superior al 100%.

En una conversación sobre este asunto, el tío Juanillo exclama:

> *«Recuerdo haber leído, hace algún tiempo, algo acerca de un "motor perpetuo". Creo que consistía en un generador de electricidad conectado a un motor eléctrico; éste, a su vez, estaba acoplado a través de una cinta y una polea al generador.*



El generador proporciona corriente al motor para que gire y el motor, entonces, hace girar el generador, que sigue proporcionando corriente y así sucesivamente. ¿No sería esta máquina un «motor perpetuo»?

a) Escribe unas cuantas frases en las que reflejes la conversación que tendrías con el tío Juanillo.

A continuación el tío Juanillo responde:

> *«De acuerdo, estoy conforme en que la máquina generador-motor no proporcionaría un suministro continuo de energía. Pero mi abuelo era muy habilidoso y tenía una máquina que era un "motor perpetuo". Se trataba de un molino de viento, que molía grano. Quien hubiera visto los grandes ejes y ruedas girando en su interior, así como la piedra de amolar, no habría tenido dudas acerca de su enorme suministro de energía. Y, sin embargo, él no pagó nunca carbón, gas, electricidad o cualquier cosa de este tipo».*

b) ¿Qué puede replicarse a esto?

Comentarios

Esta actividad puede servir, por un lado, para reforzar la idea de conservación, ya que, como dice Holton, los continuos intentos fracasados de inventar una máquina de movimiento perpetuo fueron responsables, en parte, del establecimiento del principio de conservación de la energía en mecánica. Por otro lado, la discusión acerca de la posibilidad de eliminar por completo el rozamiento nos lleva, de nuevo, al tema de la degradación de la energía.

Actividad 17

DISPONIBILIDAD DE LA ENERGÍA

En los últimos años se está hablando mucho de la crisis energética. Desde 1974, el precio del petróleo ha variado brutalmente, subiendo más de diez veces, luego bajando más del 50%, volviendo a subir, etc. Ello ha desempeñado un papel muy importante en la economía de España, por no ser un país productor de petróleo y depender de los suministros exteriores. Continuamente nos dicen que conservemos la energía. Sin embargo, según la ley universalmente aceptada, la energía se conserva siempre. En un sistema aislado, la cantidad total de energía no puede variar. ¿Qué significa, pues, conservar la energía si la cantidad total de energía del Universo, hagamos lo que hagamos, no varía?

Ocurre que la ley de conservación no lo dice todo. Unas formas de energía son más útiles que otras. La posibilidad o imposibilidad de utilizar la energía constituye lo que se conoce como **degradación de la energía**. Consideremos, por ejemplo, un bloque que se mueve sobre una mesa rugosa. Al cabo de un breve intervalo de tiempo, vemos que el bloque se ha parado y que tanto él como la mesa se han calentado ligeramente. El proceso inverso no tiene lugar nunca. Dicho bloque en reposo, una vez que se ha enfriado, no se pone espontáneamente en movimiento. Sin embargo, este asombroso hecho no violaría la conservación de la energía. La transformación de la energía descrita es un proceso irreversible —«sin vuelta de hoja»—.

Otro ejemplo de proceso «sin vuelta de hoja» es la conducción del calor. Si ponemos un cuerpo caliente en contacto con otro frío, pasará calor del cuerpo caliente al frío hasta que se igualen sus temperaturas. En cambio, el proceso inverso no tiene lugar. Dos cuerpos en contacto a la misma temperatura seguirán a la misma temperatura; no pasará calor de uno a otro enfriándose el primero y calentándose el segundo.

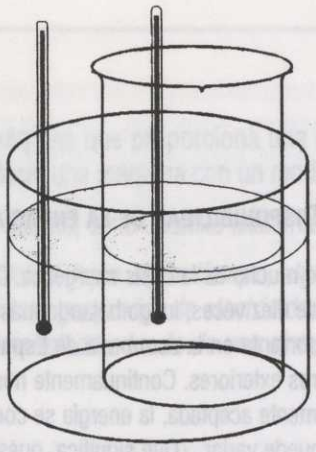
Esta igualación de temperaturas representa una pérdida de la posibilidad de aprovechar la energía disponible. Esto es lo que queremos significar al decir que «la energía se ha disipado». La cantidad total de energía de un sistema aislado —el Universo, por ejemplo— es siempre la misma, pero **tiende a convertirse en formas de energía cada vez menos utilizables.**

Comentarios

Se trata simplemente de un texto introductorio del apartado, en el que ya se reflejan algunas de las ideas fundamentales que más adelante se van a desarrollar. En consecuencia, no se persiguen tanto su comprensión como la presentación de los mismos por parte del profesor o profesora.

Actividad 18

Prepara un vaso con 100 cm^3 de agua hirviendo e introdúcelo en otro recipiente mayor que contenga el volumen de agua a temperatura ambiente que se te indique (este volumen de agua más fría ha de ser distinto para cada grupo). En cada vaso ha de haber un termómetro.



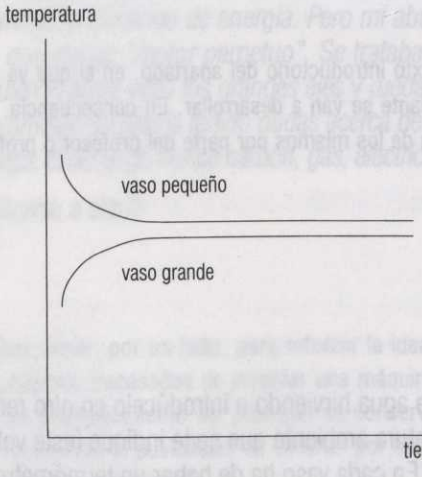
Mide, cada medio minuto, la temperatura del agua contenida en ambos recipientes y representa en el mismo sistema de ejes las correspondientes gráficas temperatura/tiempo.

a) ¿A dónde va la energía del agua caliente? ¿Cómo lo sabes?

b) Compara tu gráfica con las de los demás grupos. ¿Por qué las gráficas son diferentes según el tamaño del vaso grande?

Comentarios

En la Actividad 17 se introduce la noción de la degradación de la energía. El alumnado lee el texto propuesto y el profesor o la profesora aclara las dudas que puedan plantearse. En la Actividad 18 se intenta favorecer la comprensión de dicho concepto. Se trata de un experimento colectivo, ya que su análisis precisa de las gráficas realizadas por todos los grupos. Una gráfica típica sería la que se muestra en la figura.



Ahora bien, los equipos que utilicen un recipiente de agua a temperatura ambiente muy grande obtendrán, prácticamente, una línea recta en la gráfica correspondiente. Las preguntas que se sugieren y este último hecho pueden dar lugar a un interesante y clarificador debate.

3. Profundización en el concepto de energía

Actividad 19

LA ENERGÍA DE LOS SISTEMAS

Hasta ahora hemos hablado de la energía de un cuerpo o de un objeto. En Física, sin embargo, prefiere utilizarse el término sistema. Un **sistema** es cualquier parte del Universo que elegimos para su estudio o, dicho de otra manera, es cualquier parte del Universo que nosotros aislamos mentalmente para estudiar lo que le sucede. Para practicar un poco con este nuevo término, ¿por qué no intentas identificar los sistemas que aparecen en la Actividad 5?

Aunque, en principio, cada sistema puede intercambiar materia y/o energía con otros sistemas de su alrededor, en muchas ocasiones nos interesa considerar sistemas que poseen ciertas restricciones. Así, por ejemplo, se dice que un sistema está **aislado** (o cerrado) cuando no intercambia energía con otros.

Volviendo al tema que nos ocupa, en los procesos físicos, la energía de un sistema que no sea aislado no permanece constante, sino que aumenta o disminuye a medida que se producen transferencias de energía hacia o desde el sistema. Veamos algunos ejemplos: si Félix sube una garrafa de gasóleo al cuarto piso, si Daniel empuja un cochecito de niño a lo largo de varias calles o si Blanca coloca una cafetera cerca del hornillo, se está produciendo un aumento en la energía del gasóleo, del cochecito o del café gracias al trabajo realizado por Félix sobre el gasóleo y por Daniel sobre el cochecito y el calor suministrado durante la preparación del café (simultáneamente se producirá una disminución en las energías de Félix, de Daniel y del combustible del hornillo).

Para los físicos y las físicas, los sistemas sólo tienen energía, no tienen trabajo almacenado ni calor retenido, pero cuando esta energía es transferida a otros sistemas, ya no se denomina así —energía—, sino que se emplean los términos trabajo y calor para medir los cambios producidos en la energía del sistema. En resumen, como trataremos de aclarar a lo largo de la Unidad: *trabajo y calor son dos conceptos análogos: representan formas de medir la energía transferida desde o hacia un sistema.*

El paso siguiente va a ser, entonces, desarrollar los conceptos de trabajo y energía, quedando el de calor para más adelante.

Comentarios

Se trata simplemente de un texto introductorio del apartado tal como se hace en la Actividad 17.

TRABAJO, TRABAJO, TRABAJO

Actividad 20

La idea intuitiva de trabajo está muy relacionada con el esfuerzo que hay que hacer para transformar la materia, venciendo las fuerzas que se oponen a dicha transformación. Propón ejemplos en los que se ponga de manifiesto esta idea intuitiva de trabajo.

Actividad 21

Después de horas de laboriosos empujones sobre el trasero de un elefante terco, a pesar de las gotas de sudor en su frente, Eloísa no habrá hecho ningún trabajo sobre la bestia si ésta no se ha movido. ¿Estás de acuerdo con esta afirmación?

Comentarios

Estas dos actividades están destinadas a la explicitación de las ideas previas por parte de los estudiantes. En la Actividad 20, se observa que su idea de trabajo posee una acepción cotidiana (relacionada con el esfuerzo) distinta de la científica. Entre los ejemplos aportados cabe citar los siguientes: empujar la pared, echar un pulso, estudiar la lección, aguantar los chistes de Octavio, ... También se indican casos en los que hay desplazamiento: levantar pesas, correr los 3.000 m obstáculos, nadar contra corriente, ... En la Actividad 21, alrededor del 60% de los alumnos y las alumnas consideran que Eloísa ha hecho trabajo. Las razones alegadas que más se repiten son: porque la chica ha realizado un gran esfuerzo (24%), aunque no ha conseguido nada (12%) y porque el trasero del elefante se deforma (12%). El 40% restante argumenta que no se ha realizado trabajo, fundamentalmente porque el elefante no se mueve (20%) o porque Eloísa no ha vencido la fuerza oponente (8%).

Actividad 22

a) Juan Carlos y Ana están apilando cajas de fruta. El primero coloca cajas vacías y la segunda cajas llenas. Si cada uno de ellos ha levantado una pila de 6 cajas. ¿Quién ha hecho un trabajo mayor?

b) Juan Carlos y Ana deciden ahora apilar cajas de igual peso. Si uno coloca su caja sobre una torreta de cuatro cajas y su compañera lo hace sobre una de dos cajas, ¿quién realiza un trabajo mayor?, ¿por qué motivo?

c) ¿De qué factores depende la magnitud que denominamos trabajo? Propón una expresión matemática para ella.

Comentarios

Una vez «activadas» sus concepciones, se les invita a que enumeren los factores de que depende el trabajo en Física, para lo cual, previamente, se les plantean sendas cuestiones con el fin de «encauzar» su reflexión. En la **a),** enseguida señalan que cuanto mayor sea el peso que hay que vencer mayor será el trabajo que hay que realizar. En la **b),** mientras la mitad de los grupos razona en términos de desplazamiento (altura más elevada), la otra mitad sigue argumentando en términos del mayor o menor esfuerzo que hay que hacer.

En el apartado **c),** los alumnos y las alumnas exponen sin dificultad frases como estas: el trabajo dependerá de la fuerza que haya que hacer y de lo que tengamos que mover el cuerpo. En cualquier caso, hay que tener claro que $F.\Delta x$ no proviene de la medida del esfuerzo, sino de la relación del trabajo con la energía. Puede ser útil, entonces, que el profesor explique brevemente el modo en que funcionan los músculos lisos y estriados, tal como aparece, por ejemplo, en el Nuffield (1984) (aunque cabe la opción de posponer esto hasta la Actividad 25).

Actividad 23

TRABAJO

Cuando una fuerza F actúa sobre un cuerpo durante un desplazamiento Δx, ambos en la misma dirección y sentido, se define el trabajo realizado por dicha fuerza sobre el cuerpo como el producto de la fuerza por el desplazamiento, esto es,

$$W = F.\Delta x$$

A partir de la definición operativa de trabajo, define la unidad de trabajo en el Sistema Internacional; esta unidad se denomina julio o joule y se representa por la letra J.

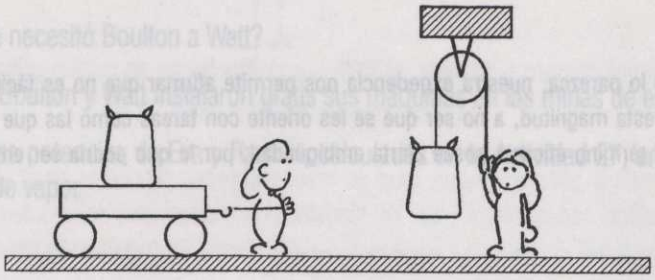
Comentarios

Nos hemos limitado a una definición restringida al caso más sencillo en el que la fuerza y el desplazamiento tienen la misma dirección y sentido, de acuerdo con el grado de profundización establecido en las carpetas rojas.

En cuanto a la definición de la unidad de medida, conviene insistir en que utilicen frases que expresen un significado y no simples formulaciones del tipo «1 newton x 1 m».

Actividad 24

Ernestina y Esther están trabajando. Una de ellas transporta un saco de 60 kg de masa en un carro a lo largo de 10 m y necesita para hacerlo una fuerza de 20 N (según marca el dinamómetro), lo suficiente para vencer el rozamiento. La otra ha de superar todo el peso y ha de elevarlo a 10 m de altura. Calcula el trabajo realizado en cada caso.



Actividad 25

Lidia lleva sobre sus hombros un saco de 50 kg de masa. Se detiene durante 10 minutos para hablar con un amigo quedando agotada. ¿Cuál ha sido el trabajo realizado por Lidia sobre el saco?

Comentarios

Son dos actividades de aplicación en situaciones sencillas. En la segunda, es probable que el profesor tenga que sugerir a sus estudiantes que piensen en las fuerzas que actúan sobre el saco; una vez

establecidas, la mayoría de los grupos contesta adecuadamente (para los más recalcitrantes a veces se hace necesario distinguir el trabajo sobre el saco del trabajo interno de los músculos de Lidia).

Actividad 26

Se ha de subir un tonel a un camión desde el suelo. Considera cualitativamente cuándo se realiza más trabajo: al elevar directamente el tonel o al subirlo mediante una rampa desde el suelo al camión.

Comentarios

Los alumnos y las alumnas tienden a responder que se hace menos trabajo en el segundo caso, lo que pone de manifiesto, otra vez, la confusión entre trabajo y esfuerzo y, en otras palabras, que aquéllos sólo tienen en cuenta el factor fuerza. Esta actividad permite volver a discutir la necesidad de tener en cuenta, a la hora de calcular el trabajo, no sólo la fuerza, sino también el desplazamiento efectuado.

POTENCIA

Actividad 27

a) En una clase de gimnasia, Eva y Ramón trepan por sendas cuerdas de 5 m de altura. Suponiendo que tienen las misma masa (40 kg), calcula el trabajo que cada uno realiza en la ascensión.

b) Eva lleva a cabo su tarea en 60 s, mientras que Ramón lo hace en 50 s. Halla el trabajo efectuado por cada uno en 1 s. Interpreta los resultados.

c) Propón una magnitud que mida la eficacia con que se realiza el trabajo.

Comentarios

Aunque no lo parezca, nuestra experiencia nos permite afirmar que no es fácil para los y las estudiantes definir esta magnitud, a no ser que se les oriente con tareas como las que se proponen en **a)** y **b)**. Además, el término eficacia posee cierta ambigüedad, por lo que podría ser entendido de diferentes maneras.

LO QUE TODO EL MUNDO QUIERE: POTENCIA

Columnas de humo subían ya hacia lo alto desde las fundiciones de Inglaterra en los últimos años del siglo XVIII. El cielo se iluminaba con el ardiente resplandor de la Revolución Industrial. Maestros del hierro tales como **John Wilkinson** (con fama en hojas de afeitar) hicieron cañones, naves y puentes de hierro, los objetos más básicos de la Época. El afable y brillante **Matthew Boulton** poseía una buena fábrica en Birminhgam que fabricaba cajitas de rapé, preciosos botones y adornos metálicos. Cuando se secaba la alberca que movía la rueda de paletas que impulsaba la fábrica, el trabajo disminuía. Aunque sin resultado, discutió este enojoso problema y la idea de usar una especie de bomba con sus amigos **Benjamín Franklin** y **Erasmo Darwin** (abuelo de Charles). Sin embargo, otro amigo que tenía preocupaciones similares, un industrial llamado **Roebuck**, presentó a Boulton un joven ingeniero, **James Watt**. Este melancó-

lico escocés, inventor de talento considerable, había diseñado por entonces una máquina de vapor mejorada, pero no la había hecho funcionar aún. Boulton quedó enseguida impresionado por el ingenio de Watt, y Watt se sintió encantado de poder emplear los artesanos e instrumentos de la factoría de Boulton. No tardó mucho la máquina de Watt en subir agua desde la alberca hasta la parte alta de la gran rueda, moviendo el molino y haciendo a Boulton todavía más rico.

En aquellos días las máquinas de vapor se usaban sólo como bombas, situación que pronto cambiaría Watt. Habían formado una sociedad, Boulton y Watt, convirtiéndose en los primeros fabricantes de máquinas de vapor eficientes. Boulton, estaba tan contento con su nueva colaboración y con el portentoso ímpetu de los pistones, que alardeaba: «Vendo lo que todo el mundo quiere: ¡Potencia!».

Boulton y Watt llevaron sus motores a Cornwall para bombear al exterior el agua que inundaba la profundas minas de cobre y estaño. Astutamente, se ofrecieron para instalar las máquinas sin cobrar. Todo lo que pedían a cambio era una fracción de la diferencia entre el costo del combustible para las máquinas y el costo del heno para un equipo que hiciera el mismo trabajo por día. Los propietarios de la mina comenzaron a rezongar sólo cuando empezaron a pasar los años y seguían pagando a los prestamistas de potencia.

Se define la **potencia** de un sistema (persona, animal, máquina, ...) como el trabajo realizado en la unidad de tiempo. La potencia, que se representa por la letra P, es una medida de la rapidez (o eficacia) con que se realiza un trabajo. La potencia se calcula mediante la expresión:

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

donde W es el trabajo realizado en el intervalo de tiempo Δt. La unidad de potencia en el Sistema Internacional es, de acuerdo con la definición operativa anterior, 1 J/s, la cual recibe el nombre de **vatio** o «watt». El símbolo del vatio es W. Como el vatio es una unidad bastante pequeña se suelen utilizar algunos de sus múltiplos, como el **kilovatio** (1 kW = 1000 W) o el **caballo de vapor** (1 CV = 734 W).

Tomado, en parte, de *Física en perspectiva,* de E. HECHT.

a) ¿Para qué necesitó Boulton a Watt?

b) ¿Por qué Boulton y Watt instalaron gratis sus máquinas en las minas de estaño y cobre?

c) Expresa las potencias de Eva y Ramón, calculadas en la Actividad 27, en vatios, kilovatios y caballos de vapor.

Comentarios

Texto histórico sobre las máquinas de vapor, que constituyen otro de los factores que influyó decisivamente en el principio de conservación (Kuhn). Su lectura permite apreciar algunos de los aspectos de las relaciones Tecnología–Sociedad y la influencia de la primera en el desarrollo conceptual de la ciencia, evitando la visión que posterga el desarrollo tecnológico al científico.

Actividad 29

El **kilovatio–hora** (kWh), ¿es una unidad de potencia o de trabajo? Calcula su equivalencia con la unidad correspondiente del Sistema Internacional.

Comentarios

Inicialmente surgen problemas para entender la pregunta. En cuanto el profesor o la profesora les anima a utilizar la ecuación de definición de la potencia, aquéllos desaparecen. El cambio de unidades tampoco les resulta sencillo.

Actividad 30

a) Confecciona una lista con la potencia de todos los aparatos que tengas en casa: bombillas, fluorescentes, radio, televisión, frigorífico, lavadora, batidora, ordenador, etc. Cada uno de ellos lleva la potencia escrita en una etiqueta, grabada o pegada.

b) Halla la potencia total de todos los aparatos eléctricos de tu casa. ¿Debes contratar con la compañía eléctrica toda esa potencia? ¿Por qué?

c) Por un lado, la potencia mínima que hay que contratar no puede ser inferior a la de algunos aparatos eléctricos. Por otro lado, teniendo en cuenta que no debe utilizarse la totalidad de los electrodomésticos a la vez, dicha potencia mínima tiene una reducción del 30 al 60% sobre la suma de todas las potencias de los aparatos eléctricos.

A partir de la información contenida en la **escala de potencias normalizadas**, haz una estimación de la potencia que contratarías con la compañía eléctrica.

Escala de potencias normalizadas para la tensión usual de 220 V (en kW): 2'20, 3'30, 4'40, 5'50, 6'60, 7'70, 8'80, 9'90, 11'00, 13'06.

Actividad 31

a) Una bombilla eléctrica presenta la siguiente inscripción: «80 W». Di exactamente qué significa esto.

b) Si la electricidad costara a 15 ptas. el kWh, ¿cuántas horas se podría utilizar esta bombilla por 100 ptas.?

Comentarios

Estas dos actividades muestran las relaciones entre la ciencia y la vida cotidiana.

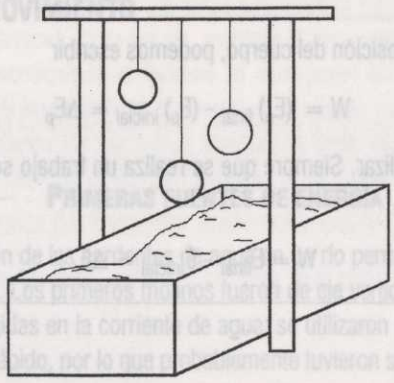
ENERGÍA ASOCIADA AL CAMBIO DE POSICIÓN

Actividad 32

Coge una caja y llénala de arena húmeda. Deja caer encima de la caja, desde distintas alturas, una bola metálica. Cuando la bola choque con la arena, se hundirá.

a) ¿En qué caso crees que la huella será más profunda? Realiza la experiencia.

b) ¿A qué crees que se debe la diferente huella observada?



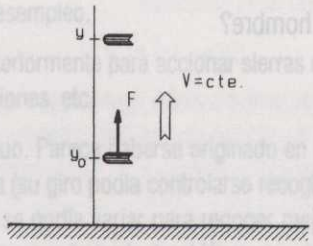
Comentarios

Este ejemplo es similar al del martillo-pilón el cual introduce, en el contexto histórico, los dos conceptos que ahora nos ocupan: trabajo y energía. En consecuencia, posibilita una mejor comprensión de la relación entre el trabajo y la variación de la energía potencial gravitatoria que se introduce en la actividad siguiente.

Actividad 33

ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA

Imagina que estás levantando verticalmente un libro de masa m. Considera ahora una parte de este movimiento, desde la posición y_0 hasta la posición y, durante la cual la velocidad permanece constante.



La fuerza constante hacia arriba que tienes que hacer es igual, numéricamente, al peso del libro —así lo contrarrestas— si suponemos despreciable la resistencia del aire y lo elevas con lentitud. El trabajo que, de este modo, realizas sobre el libro es

$$W = F.\Delta y = mg\,(y-y_0) = mgy - mgy_0$$

¿En qué se invierte este trabajo? Si dejas caer el libro, adquirirá un movimiento cada vez más rápido. Como acabas de ver en la actividad anterior, cuanto más alto lo subas, mayor será la velocidad con la que llegará al punto de partida. Siguiendo este razonamiento, los físicos y las físicas nos dicen, lo que responde a la última pregunta, que el trabajo realizado sobre el libro al elevarlo —recuerda que le has aplicado una fuerza y se ha producido un desplazamiento— se ha «almacenado» en forma de energía. Dicha energía está asociada a la posición que adquiere el libro respecto a la mesa y recibe el nombre de **energía potencial gravitatoria**, se representa mediante E_p y se define como el producto de la masa del cuerpo por la constante g y por la posición del mismo respecto al **nivel de referencia** ($y = 0$), es decir,

$$E_p = mgy$$

Así pues, cuando sólo varía la posición del cuerpo, podemos escribir

$$W = (E_p)_{final} - (E_p)_{inicial} = \Delta E_p$$

Este resultado se puede generalizar. Siempre que se realiza un trabajo sobre un sistema, se produce en él una variación de energía:

$$W = E_{final} - E_{inicial} = \Delta E$$

Comentarios

La comprensión profunda de la relación entre trabajo y energía no es fácil. Algunos alumnos y alumnas muestran su extrañeza porque la energía cambie: *no veo que nadie transmite energía al libro.*

La actividad requiere, por lo tanto, que se realice con detenimiento. Así pues, proponemos que sea explicada por el profesor. En cualquier caso, más adelante se incluyen otras actividades que insisten en lo mismo, por lo que no es necesario que la conceptualización completa se produzca en este momento.

Actividad 34

Una persona de 60 kg de masa sube a un piso situado a 15 m de la calle.

a) ¿Cuánta energía potencial gravitatoria gana?

b) ¿Qué trabajo ha realizado el hombre?

Actividad 35

Un libro de 0,5 kg de masa se encuentra sobre una mesa de 1 m de altura en un aula cuyo suelo se encuentra a 12 m por encima del suelo del patio.

a) ¿Cuál es la energía potencial gravitatoria del libro? (Discute previamente si la pregunta está bien formulada).

b) Si el libro cae de la mesa al suelo del aula, ¿cuál es la variación de su energía potencial gravitatoria?

Comentarios

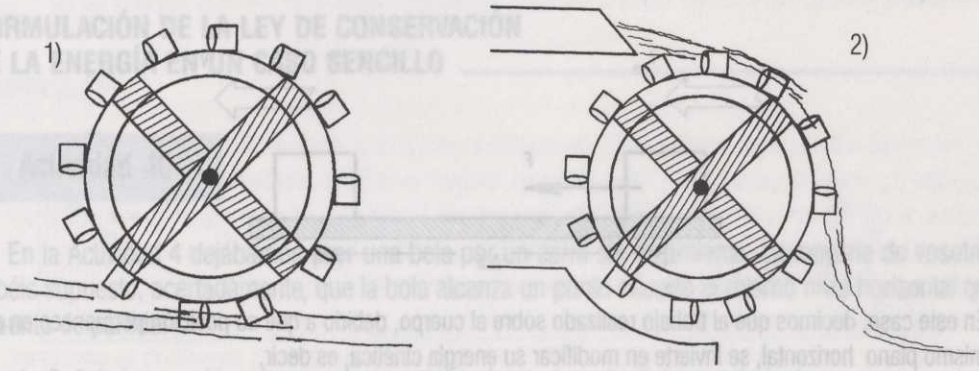
Dos ejercicios de aplicación. En el segundo, se debe discutir el carácter relativo de la energía potencial gravitatoria respecto al nivel tomado como referencia, y el absoluto de sus variaciones. Como alternativa o complemento a estas dos actividades se puede utilizar el Microlaboratorio de resolución de problemas por ordenador (módulo 16: ENERGÍA MECÁNICA(I), problemas 1, 2, 3 y 5).

Actividad 36

PRIMERAS FUENTES DE ENERGÍA

Ya en la Antigüedad la utilización de las corrientes de agua en un río permitió sustituir la energía humana o animal en los molinos de rueda. Los primeros molinos fueron de eje vertical, en cuyo extremo inferior existía una serie de paletas sumergidas en la corriente de agua; se utilizaron para moler grano. Estos molinos necesitaban un curso de agua rápido, por lo que probablemente tuvieron su origen en zonas montañosas.

El arquitecto romano **Vitrubio** propuso en el siglo I a.C. un diseño con la rueda vertical y el eje horizontal (rueda de cangilones o noria). Al principio, estas ruedas eran movidas desde abajo, es decir, era la parte inferior de la rueda la que se introducía en el agua; más tarde, se descubrió que era más eficaz mover la rueda haciendo que la corriente incidiera por arriba.



Es curioso que el molino de Vitrubio no fuera usado en el Imperio Romano hasta los siglos III y IV. Mientras se pudo disponer de esclavos y de mano de obra barata no había estímulo para emprender tal desembolso de capital. Es más, se dice que el emperador **Vespasiano** se opuso a la utilización de la energía hidráulica porque podía producir desempleo.

La energía hidráulica se utilizó posteriormente para accionar sierras en las serrerías, martinetes para el trabajo del metal, fuelles en las fundiciones, etc.

El molino de viento no es tan antiguo. Parece haberse originado en Persia, en el siglo VII. Las aspas eran lonas como las de un barco de vela (su giro podía controlarse recogiendo estas más o menos) o bien postigos de madera (cuya inclinación se podía variar para recoger mejor la energía del viento). Este tipo de molino fue utilizado para moler grano y, más tarde, también como sistema para bombear agua.

a) De esta lectura se deduce fácilmente que una corriente de agua o de aire poseen energía. ¿A qué se debe esta energía? ¿Qué nombre recibe?

b) Considera el experimento de lanzar una piedra contra un bidón metálico en el que se produce una deformación, la cual es una consecuencia de la energía transferida, en forma de trabajo, de la piedra móvil al bidón. Analiza los casos de piedras de diferentes masas y distintas velocidades. ¿De qué factores depende la energía de un cuerpo en movimiento?

Comentarios

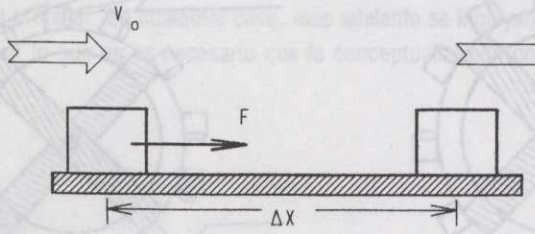
Breve referencia histórica a las primeras fuentes de energía basadas en la «energía del movimiento». El apartado **a)** no presenta dificultades. La mayoría de alumnos responden adecuadamente a esta cuestión, atribuyendo la causa de la energía del agua al movimiento que posee la corriente.

El apartado **b)** trata de orientar la discusión sobre los factores de que depende la energía que hemos etiquetado como cinética. Al igual que el primero, no presenta excesiva dificultad para los alumnos y alumnas. En su mayor parte, las respuestas se centran en la dependencia directa de la masa y de la velocidad, sin llegar a matizar en ningún caso la proporcionalidad con el cuadrado de ésta. Por otra parte, será preciso clarificar algunas otras propuestas dadas por los estudiantes: dependencia de la fuerza con que ha sido lanzada por la mano, de la cercanía con que la tiremos, del volumen de la piedra.

Actividad 37

ENERGÍA CINÉTICA

Supongamos que un cuerpo de masa m se está moviendo con una velocidad v_0 sobre una superficie horizontal sin rozamiento. Se le aplica una fuerza horizontal F y el cuerpo alcanza una velocidad v, después de un desplazamiento Δx.



En este caso, decimos que el trabajo realizado sobre el cuerpo, debido a que su posición permanece en el mismo plano horizontal, se invierte en modificar su energía cinética, es decir,

$$W = (E_c)_{final} - (E_c)_{inicial} = \Delta E_c$$

Como se verá en cursos posteriores, la energía cinética de un cuerpo se define como el producto de 1/2 por la masa del cuerpo y por el cuadrado de la velocidad:

$$Ec = 1/2\ m\ v^2$$

De lo dicho aquí y en la Actividad 33 podemos concluir, por lo tanto, que el trabajo que se hace sobre un sistema se puede convertir en energía cinética y/o en energía potencial gravitatoria (o, como verás en cursos posteriores, en otras formas de energía).

Comentarios

En esta actividad no se incluye la deducción de la expresión matemática de la energía cinética, ya que la mayoría de los alumnos y alumnas no han estudiado el movimiento uniformemente acelerado. Al igual que en la Actividad 33, se recomienda que sea presentada por el profesor.

Actividad 38

Imagina que viajas en un avión a Sevilla a 270 m/s. A tu lado descansa una maleta de 15 kg de masa.

a) ¿Cuál es, para ti, el valor de la energía cinética de la maleta?

b) ¿Cuánto vale la energía cinética de la maleta para alguien que observa el paso del avión desde tierra?

Actividad 39

Un esquiador miope, de 70 kg de masa, que se desliza a 20 m/s sobre una pista horizontal, se incrusta completamente en un montículo de nieve hasta una profundidad de 150 cm.

a) ¿Cuál es la energía cinética del esquiador antes del impacto?

b) Halla la fuerza media de frenado, debida a la nieve, que actúa sobre él.

Comentarios

Actividades de aplicación. La 38 permite a los alumnos y alumnas percatarse del carácter relativo de esta magnitud.

FORMULACIÓN DE LA LEY DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN UN CASO SENCILLO

Actividad 40

En la Actividad 4 dejábamos caer una bola por un carril sin rozamiento. La mayoría de vosotros habéis supuesto, acertadamente, que la bola alcanza un punto situado al mismo nivel horizontal que el punto de partida.

a) Señala los cambios de energía que tienen lugar durante dicho movimiento.

b) ¿Qué indica que la bola alcance en ambos lados la misma altura?

Comentarios

Al revisar una de las cuestiones iniciales se pretende que los alumnos pasen de utilizar «argumentos cotidianos» a razonar según las magnitudes que se acaban de introducir (energía cinética y energía potencial). A estas alturas, ni la conversión ni la conservación dan lugar a problemas.

Actividad 41

LEY DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

En este caso sencillo, sin rozamiento, que acabamos de analizar, sólo existen dos formas de energía: cinética y potencial gravitatoria. La bola puede ser considerada como un sistema aislado, ya que no intercambia energía con otros sistemas. En general, la energía de un sistema es la suma de todas las formas de energía presentes en él. La energía de la bola será la suma de la energía cinética y la energía potencial gravitatoria:

$$E = E_c + E_p$$

magnitud que, obviamente, permanece constante. En general, para un sistema aislado, la suma de todas las formas de la energía permanece constante, aunque las energías del sistema puedan tomar distintas formas en el transcurso del tiempo.

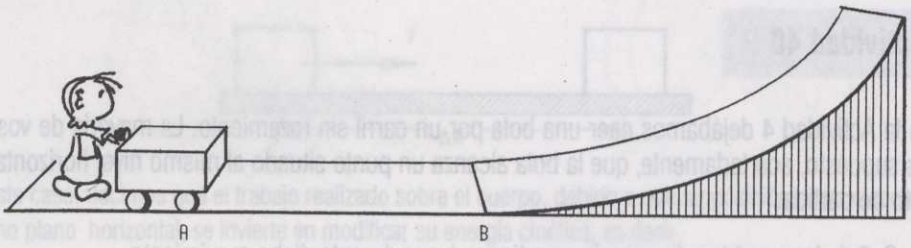
Diseña un experimento sencillo para comprobar la ley de conservación de la energía en la versión restringida que acabamos de enunciar.

Comentarios

El diseño experimental es asequible a los alumnos y las alumnas, no así la realización de la experiencia. Podemos conformarnos, pues, con la discusión sobre el proyecto, algo habitual en la ciencia, o recurrir al visionado de algún vídeo que muestre su realización.

Actividad 42

Un forzudo empuja el carrito de la figura desde la posición A hasta la B y el carrito se mueve por un plano horizontal antes de iniciar su ascensión por una rampa inclinada.



Describe el proceso utilizando, al menos una vez, los términos energía cinética, energía potencial gravitatoria, fuerza y trabajo.

Comentarios

El objetivo primordial de esta actividad consiste en proporcionar a los y las estudiantes una oportunidad para delimitar de una forma más precisa, y practicar un poco más, los conceptos de fuerza y energía que como ya se ha dicho varias veces, se encuentran bastante entremezclados en sus mentes.

Actividad 43

Un ladrillo de 2,5 kg de masa está en el suelo. Marcos lo coge y lo levanta hasta una altura de 2 m sobre el suelo. Entonces lo deja caer.

a) ¿Qué energía ha transferido Marcos al ladrillo?

b) ¿Cuál es la variación de energía potencial gravitatoria del ladrillo?

c) ¿Cuál es el aumento de su energía cinética justamente antes de tocar el suelo?

d) ¿Qué le sucede a esta energía después de que el ladrillo choca con el suelo?

Supón ahora que el ladrillo, en lugar de chocar con el suelo, cae a un hoyo de 30 cm de profundidad.

e) ¿Cuál es su energía cinética justamente antes de chocar con el fondo del hoyo?

f) ¿Cómo explicas el hecho de que el ladrillo parece haber adquirido más energía cinética que la equivalente al trabajo que hizo Marcos para elevarlo?

Actividad 44

Una alpinista polaca, de 60 kg de masa, está escalando una montaña y sube a una altura de 1.500 m.

a) ¿Qué energía potencial ganará?

b) Suponiendo que el cuerpo humano es capaz de cambiar, por medio de sus músculos, 1/4 de su energía química en energía mecánica, ¿cuánta energía química gasta en la subida?

Comentarios

Ambos ejercicios permiten aplicar la ley de conservación. En el primero, se han introducido dos preguntas que ponen de manifiesto el carácter relativo, según el nivel de referencia, de la energía potencial. Conviene que los alumnos y las alumnas se percaten de que si bien con un determinado nivel el ladrillo no posee energía potencial, al cambiar dicha referencia, debido a la nueva posición, el ladrillo pasa a tenerla inmediatamente. En la Actividad 44 se puede insistir en el balance energético. Como complemento a estas actividades se puede utilizar, si se dispone de los medios adecuados, el Microlaboratorio de resolución de problemas por ordenador (Módulo 17: ENERGÍA MECÁNICA (II), problemas 1, 3, 4, 5 y 6).

CALOR Y TEMPERATURA

La ciencia no trabaja sólo con hechos y datos, sino, principalmente, con lo que denominamos teorías. Cualquier científico, cuando se enfrenta a un problema o tiene que explicar los fenómenos que observa, puede sugerir algunas ideas encaminadas a su resolución o explicación. Si estas ideas se comprueba que funcionan, suelen utilizarse, además, para hacer predicciones. Surgen, así, las **teorías científicas** en las que las influencias sociales y de otras clases son notables; no se trata de simples descripciones de hechos reales, sino que son construcciones mentales elaboradas por las personas. Sobre la naturaleza del calor, los científicos han elaborado, a lo largo de la historia, dos importantes teorías: la del calórico y la cinética. A continuación, revisaremos brevemente cada una de ellas, pero antes, responde a la cuestión de la siguiente actividad.

Actividad 45

Supón que dispones de una cuchara de acero inoxidable. Enumera todas las formas que se te ocurran para calentarla.

Comentarios

Los y las estudiantes proponen sin dificultad, las dos alternativas posibles: calentarlo, lo que nos permitirá introducir la teoría del calórico, y golpearlo —hacer trabajo sobre él—, lo que nos conducirá hacia la teoría cinética.

Actividad 46

1. LA TEORÍA DEL CALÓRICO

Cuando calentamos un cazo con agua en nuestra cocina de butano, podemos suponer que hay algo en el gas que pasa al cazo para calentarlo. De hecho, algunos científicos del siglo XVIII, como **Black**, **Lavoisier** y **Laplace**, imaginaron que todas las cosas contienen una clase de «fluido», de «materia de calor» —que denominaron **calórico**—, que fluye de los cuerpos calientes a los fríos. La temperatura de los objetos dependería, así, de la cantidad de calórico que tuvieran.

Cuando un cuerpo se calienta, recibe calórico; cuando se enfría, el fluido sale. El calórico pasa de una cosa a otra siempre que haya una diferencia de temperaturas. Si los dos están a la misma temperatura, se supone que poseen idénticas cantidades del «fluido».

2. LA TEORÍA CINÉTICA DEL CALOR

Como ya sabes, la teoría cinética dice que todas las cosas están formadas por partículas (átomos, moléculas o iones) que se encuentran en continuo movimiento. Al principio del siglo XIX esta teoría comenzó a aplicarse a los fenómenos relacionados con el calor. Por el hecho de moverse dichas partículas tienen energía cinética. Cuando un objeto se calienta, lo que sucede, en realidad, es que se transfiere más energía cinética a sus partículas, con lo que éstas se mueven o vibran más rápidamente y, al mismo tiempo, aumenta la temperatura del cuerpo. Vemos, en consecuencia, que la velocidad con la que se mueven las partículas está relacionada con la temperatura; cuanto más deprisa se desplacen, más alta será la temperatura. Si lo hacen despacio, la temperatura será menor.

a) Predice qué pasará con la temperatura en las siguientes experiencias:

- Se mezclan 100 cm^3 de agua hirviendo con otros 100 cm^3 a temperatura ambiente.
- 500 g de perdigones colocados en un vaso de plástico se introducen en un tubo de cartón; se tapa el tubo por los dos extremos y se dan 50 vueltas. Seguidamente se devuelven los perdigones al vaso de plástico.

b) Comprueba tus predicciones. ¿Con cuál de las dos teorías citadas están más de acuerdo tus observaciones?

Comentarios

Aquí, y en la Actividad 48, no se trata tan sólo de proporcionar determinados conocimientos científicos, sino de mostrar qué es y cómo funciona la ciencia.

Actividad 47

Define el concepto de temperatura a partir de la teoría cinética del calor.

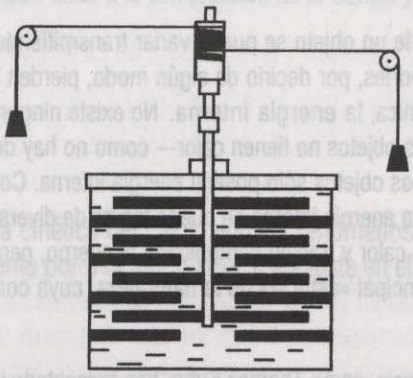
Actividad 48

El difícil camino hacia la ley de conservación de la energía

La razón por la cual la teoría cinética del calor fue aceptada, en detrimento de la teoría del calórico, residía en el hecho de que aquella podía explicar la relación entre el aumento de temperatura y la energía transferida entre dos sistemas. A finales del siglo XVIII y principios del XIX, la situación del calor era complicada, ya que, por otra parte, los científicos no comprendían muy bien qué era la energía. No es de extrañar, por lo tanto, que en aquellos tiempos resultara muy difícil entender y, comprobar experimentalmente, que el aumento de la temperatura depende de la transferencia de energía.

En 1842, **Julius Robert Mayer**, medico de Heilbron (Alemania), sugirió que tal conexión —entre temperatura y energía— existía, pero fue incapaz, en un principio, de convencer a sus colegas mediante el único recurso de la argumentación. El destino de Mayer fue muy duro. Acosado por los científicos e incomprendido por sus allegados, pasó diez años en el manicomio. Sólo un poco antes de su muerte, en 1878, le fueron reconocidos sus méritos.

En esos mismos años **James Joule**, un cervecero y científico aficionado de Manchester (Inglaterra), trataba de desarrollar, mediante cuidadosos experimentos, ideas semejantes. Joule pasó 40 años diseñando y construyendo aparatos que le permitieran comprobar la relación entre la energía y el aumento de la temperatura. Uno de sus principales experimentos puede verse esquematizado en la figura.



En este dispositivo, una rueda de paletas es movida mediante un par de pesos; al girar las paletas, agitando el agua y calentándola por rozamiento, subía la temperatura. Multiplicando la masa de agua por la subida de temperatura, Joule calculó el calor producido. El peso de la carga que colgaba multiplicado por la distancia que había descendido daba la pérdida de energía mecánica. De este modo pudo calcular la relación que buscaba entre la energía y la variación de temperatura. En concreto, su experimento demostró que había que transferir 4200 J de energía —trabajo— para aumentar en un grado centígrado la temperatura de un kilo de agua.

Pero la importancia del trabajo de Joule residía en que obtuvo valores similares en muchos experimentos diferentes. Una y otra vez Joule llegaba, prácticamente, a la misma conclusión: desaparecía idéntica cantidad de energía en «newton x metro» (esto es, en julios) por cada caloría de calor que se producía. Esta constancia le hizo sospechar que estaba sobre la pista verdadera, ya que si el calor era realmente una medida de la energía transferida —como las pesetas son una medida del dinero—, se espera pagar la misma cantidad de energía (trabajo) por cada caloría de calor que se produce, sea cual fuere el método de producción —igual que se esperan cinco pesetas de un duro, independientemente del tipo de negocio que se efectúe—.

Joule tampoco encontró enseguida el reconocimiento de sus contemporáneos. La influencia de las viejas teorías era muy grande, como para que se aceptaran inmediatamente las nuevas sobre la equivalencia del calor y el trabajo. No obstante, 30 años después de la publicación por primera vez de sus experimentos, la Royal Society le concedió, en 1870, la medalla Copley, el premio científico más importante de la Época.

En 1847, estas ideas recibieron un nuevo empuje a partir de los trabajos de **Helmholtz**. La negación del movimiento perpetuo y sus experimentos de fisiología animal eran las razones básicas de la adhesión de éste al principio de conservación, aunque es imposible negar la influencia que en su trabajo tuvo el filósofo alemán **Kant**. Los filósofos naturales, en general, *habían colocado al organismo como metáfora fundamental de su ciencia universal, por lo que buscaron insistentemente un solo principio que unificase todos los fenómenos naturales. Por ejemplo, Schelling sostuvo que los fenómenos magnéticos, eléctricos, químicos, y hasta los orgánicos, deberían estar entrelazados formando una gran asociación... No cabe duda de que una sola fuerza, en sus varias formas, está manifiesta en los fenómenos de la luz, la electricidad, y así sucesivamente.*

De esta manera, durante la década de los cuarenta del siglo pasado fue formulada, posiblemente, la ley más importante de la naturaleza: La Ley de la Conservación de la Energía. Una formulación similar a la actual fue publicada por Clausius, en 1850. Él acentuó la equivalencia entre trabajo y calor y expresó mediante una ecuación el principio de conservación. La novedad de la aportación de Clausius descansa en una afirmación aparentemente muy sencilla:

Cada cuerpo posee cierta energía (que denominó **interna**) *que se puede incrementar de dos maneras: realizando trabajo sobre el cuerpo y/o llevando calor al cuerpo.*

En otras palabras, la energía de un objeto se puede variar transmitiéndole calor y también realizando trabajo sobre él, pero estos aportes, por decirlo de algún modo, pierden su especificidad, transformándose en una magnitud física única, **la energía interna**. No existe ninguna magnitud a la que se pueda llamar calor de un cuerpo —los objetos no tienen calor— como no hay dentro del cuerpo magnitud a la que se pueda llamar trabajo. Los objetos sólo poseen energía interna. Conseguir que un objeto alcance un estado con una determinada energía interna se puede lograr de diversas formas, escogiendo de distinta manera las cantidades de calor y trabajo comunicado al cuerpo, pero eso sí, dejando invariable su suma. En esto consistía la principal «astucia» de la naturaleza, cuya comprensión requirió un camino tan difícil.

Algunos historiadores de la ciencia, como Thomas Kuhn, han presentado la formulación de la ley de conservación de la energía como un ejemplo de descubrimiento simultáneo, aunque, en este caso, tal expresión no significa que dos o más investigadores llegaron a ella al mismo tiempo, y en completa ignorancia del trabajo de cada uno, sino, más bien, que *entre 1830 y 1850 se aprecia el surgimiento rápido y a menudo desordenado de los elementos conceptuales y experimentales de los cuales, poco tiempo después, se compondría su teoría.*

Kuhn habla de 12 precursores de la ley. Así, entre 1842 y 1847, Mayer, Joule, Colding (danés) y Helmholtz (alemán) hicieron pública la hipótesis de la conservación de la energía. Entre 1832 y 1854, **Carnot**, Seguin (franceses), Holtzmann (alemán) e Hirn (alsaciano) escribieron, por separado, sus convicciones de que el calor y el trabajo son equivalentes cuantitativamente y calcularon un coeficiente de conversión o equivalente. Entre 1837 y 1844, Mohr, Liebig (alemanes), Grove y Faraday (ingleses) *describieron el mundo de los fenómenos como manifestación de una sola «fuerza», que aparecía en formas eléctricas, térmicas, dinámicas y muchas otras, pero en todas sus transformaciones nunca podría ser creada ni destruida.*

a) Te habrás dado cuenta de que Mohr, Faraday y otros científicos del s. XIX utilizaban el término «fuerza» en sus escritos. Desde un punto de vista científico actual, ¿a qué concepto físico se estaban, en realidad, refiriendo? Intenta distinguir los dos de la forma más sencilla que se te ocurra.

b) Alrededor de 1840, el poderío científico de Inglaterra y Francia era mayor que el de Alemania. Sin embargo, de los doce precursores señalados en el texto cinco eran alemanes y uno danés. ¿Cómo podría explicarse esta presencia germana tan destacada?

c) Enuncia la ley de conservación de la energía en los sistemas aislados y en aquellos que no lo sean.

d) A la luz de la información recogida en el recuadro, ¿sabrías explicar qué es el calor? ¿Y cuál es su relación con la energía?

Comentarios

El texto es bastante exigente. La experiencia de Joule puede ilustrarse, no obstante, con el video: La Energía, de la Open University (distribuido por ANCORA). A pesar de su complejidad, sirve para ilustrar el intrincado camino que la ciencia recorre hasta la consolidación de sus teorías, así como la influencia que tienen los factores externos, como los filosóficos, por ejemplo. Desmitifica, además, la visión muy esquemática que en el ámbito cotidiano se tiene del descubrimiento científico y de su paternidad.

Pretende, por fin, estimular la creatividad y las ansias de pensar. En este ejemplo, los alumnos y las alumnas pueden ver que no sólo ellos se sienten a menudo confundidos en cuanto al significado de los conceptos que maneja la ciencia. Los propios científicos y científicas han construido su disciplina en numerosas ocasiones, en medio de una gran confusión. El afán de clarificar el sentido de los términos ha sido, precisamente, uno de los motores del desarrollo científico, y este esfuerzo, realizado por los y las estudiantes, ha de contribuir tanto a la comprensión de la ciencia y de sus contenidos, como la propia capacidad por razonar.

Actividad 49

Explica, mediante la teoría cinética del calor, algunos fenómenos (dilatación, equilibrio térmico, cambio de estado, calentamiento por fricción, ...) que estudiaste en el primer ciclo.

Comentarios

Esta actividad es particularmente interesante, ya que da la posibilidad, una vez incorporado el marco teórico, de explicar fenómenos por todos conocidos, pero probablemente justificados desde la esfera del conocimiento cotidiano. Aquí es posible apreciar la potencia y, por qué no, la elegancia del saber científico.

Actividad 50

La degradación de la energía

El camino hacia la formulación de la ley de conservación fue, como ya hemos dicho, intrincado y complejo, era más asequible pensar que la energía no surge de la nada que suponer que la energía no puede desaparecer. El trabajo de un caballo se gasta en la fricción de las ruedas de la carreta, el calor de la estufa se dispersa irremediablemente por la habitación. A cada paso, a cada mirada que echemos a nuestro alrededor, vemos cómo desaparece la energía, cómo el trabajo se gasta en vano y de todas formas seguimos insistentemente afirmando: la energía se conserva. Esta paradoja fue resuelta sólo cuando se comprendió que el calor está ligado al movimiento de las partículas y que la «energía desaparecida» se transforma en energía de ese movimiento.

Esto es lo que explica la inquietud por los recursos energéticos, la crisis energética, etc. En el estudio de las máquinas, un esbozo del cual se verá más adelante, se aprecia que siempre que se transfiere energía, hay una parte de la misma que se dispersa en el ambiente. Esta energía ya no podrá ser utilizada de nuevo. En efecto, las partículas del aire, próximas a la máquina, al recibir esa energía, comienzan a moverse más deprisa, en todas las direcciones y chocando con el resto de partículas de su entorno, transfiriéndose unas a otras la energía que poseen. Al final, toda la energía transferida queda dispersada entre millones y millones de partículas. Esta energía ya no podrá recogerse otra vez para realizar un trabajo útil.

Puesto que la energía se disipa, sugiere qué medidas se podrían tomar para disminuir este fenómeno al máximo, tanto en los hogares, como en la industria u otra actividad económica.

Comentarios

Las diversas medidas sugeridas, desde el aislamiento de hogares e industrias hasta la utilización de nuevos materiales cerámicos para motores, o superconductores de corriente, pretenden despertar la conciencia social y debatir los nuevos adelantos tecnológicos en estos temas.

Rendimiento energético

Actividad 51

Conversión y utilización de la energía

Uno de los retos actuales de la sociedad industrial moderna es aumentar el rendimiento de conversión de la energía contenida en los combustibles en otras formas más útiles. Para la agricultura, la ganadería y la industria esto significa costes de producción más bajos; para el consumidor, significa precios inferiores; en general, significa ahorrar energía y reducir la contaminación del agua y del aire.

El rendimiento de una transformación energética, que por lo general tiene lugar en máquinas, está relacionado con la degradación de la energía y con la existencia de procesos irreversibles. En particular, son irreversibles los procesos de transformación de energía en calor a causa de todo tipo de rozamientos. Esto nos lleva a que en máquinas que transforman la energía mecánica en trabajo sólo puede conseguirse un alto porcentaje de aprovechabilidad si se combate el inevitable rozamiento; por eso se diseñan las máquinas de manera que tengan una buena lubricación, perfectos cojinetes y una baja resistencia por parte del medio en el que se mueven sus diversas partes.

La situación varía completamente cuando la máquina utiliza la energía química de los combustibles. Para obtener trabajo de un combustible es preciso quemarlo y crear una zona con una temperatura elevada (horno). Una máquina térmica, que transforma parte del calor generado en la combustión en trabajo, funciona a partir de la diferencia de temperaturas entre el horno y el medio exterior. La máquina térmica sólo transforma en trabajo una parte de la energía que fluye —calor— entre el horno y el medio exterior (los llamados **foco caliente** y foco frío) y nunca el flujo entero. Y este también es un proceso irreversible.



Si la diferencia de temperaturas entre los focos es pequeña, el flujo de energía entre éstos y el trabajo producido serán también pequeños. Es absolutamente imposible transformar calor en trabajo si la temperatura del horno es igual a la del medio exterior. Aunque se eliminaran todos los rozamientos y tuviésemos una máquina térmica perfecta, la diferencia de temperaturas entre los focos establece un límite a la posibilidad de aprovechamiento de las citadas máquinas. De todo lo expuesto se deduce lo poco útil que resulta utilizar calor para producir trabajo.

Se conoce como **rendimiento** de una máquina la fracción de la energía recibida que transforma en energía útil, en energía asociada al fin perseguido por la máquina —recuerda los diagramas de flechas—. El rendimiento, representado por la letra r, es, entonces, el cociente entre la energía útil y la energía consumida por la máquina; si multiplicamos este cociente por cien, el rendimiento se expresa en porcentaje:

$$r = \frac{\text{energía útil}}{\text{energía consumida}} \cdot 100 \ (\%)$$

Ejemplo: En una moto moto interesa convertir la mayor parte de la energía química del combustible en energía cinética, pues ya sabemos que una parte se disipa en forma de calor. Si de cada 1.000 J de energía química se obtienen 350 J de energía cinética, el rendimiento de la moto será:

$$r = \frac{350}{1000} \cdot 100 = 0'35.100 = 35\%$$

Los restantes 650 J se convierten en otras formas de energía que no nos interesa, no sabemos o no podemos aprovechar. Decimos que aparecen pérdidas.

Los rendimientos de máquinas, motores o cualquier otro dispositivo dependen del tipo de transformación energética asociada a los mismos, tal como se muestra en la tabla siguiente.

DISPOSITIVO	RENDIMIENTO	TRANSFORMACIÓN
Generador eléctrico	99%	Mecánica a eléctrica
Motor eléctrico grande	90%	Eléctrica a mecánica
Caldera de vapor grande	88%	Química a calor
Estufa de gas	85%	Química a calor
Estufa de petróleo	65%	Química a calor
Motor eléctrico pequeño	64%	Eléctrica a mecánica
Cohete de combustible líquido	48%	Química a cinética
Motor de automóvil	25%	Química a mecánica
Lámpara fluorescente	20%	Eléctrica a luminosa
Lámpara incandescente	5%	Eléctrica a luminosa

Comentarios

Este apartado se presenta como opcional, o para que lo trabajen los estudiantes más avanzados, si se pretende utilizar la idea de máquina térmica. Si se pasa directamente desde los diagramas de flecha —distinguiendo la energía que más interesa de la que consideramos inútil— a la definición de rendimiento, es probable que el conjunto de los discentes pueden realizar las actividades de aplicación que siguen. Éstas, por su relación con situaciones de la vida cotidiana, despiertan bastante el interés de la clase.

Actividad 52

Una bombilla que gasta 100 J en 1 s, suministra 93'5 J en forma de calor. ¿Cuál es el rendimiento de la bombilla?

Actividad 53

Calcula, consultando la tabla de rendimientos, cuánta energía de los 60.000.000 J que proporciona cada litro de gasolina transforma un motor de automóvil en energía cinética.

Actividad 54

Jesús, viendo que las bombillas se calientan mucho, ha pensado en calentar su casa instalando muchas bombillas en cada habitación. Luis no está de acuerdo. ¿Qué dirías tú?

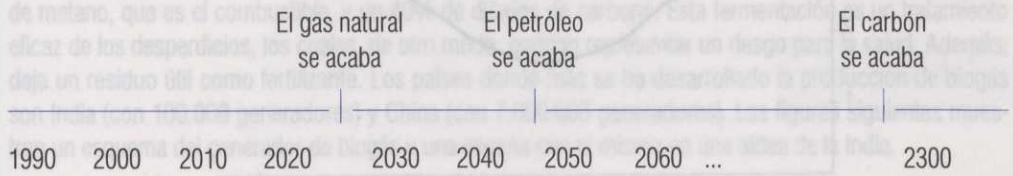
Actividad 55

¿Por qué resulta más económico en los Institutos utilizar fluorescentes en lugar de bombillas?

Actividad 56

Fuentes renovables y no renovables

La energía es uno de los bienes fundamentales de la sociedad actual y, sin embargo, los países desarrollados, principalmente, se dedican a despilfarrar las fuentes de energía disponibles, —en especial, los combustibles fósiles—, cuya formación ha requerido millones de años y cuya recuperación resulta problemática, por no decir imposible. En la actualidad en España, aproximadamente el 85% de nuestra energía procede de las denominadas fuentes **no renovables**, como el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio. Estas fuentes de energía son limitadas; se estima que tarde o temprano se agotarán, tal como se indica en la gráfica adjunta:



Por eso, los científicos e ingenieros están intentando explotar otras fuentes que sean renovables, es decir, que se regeneren continuamente.

a) ¿Qué otros inconvenientes presentan las fuentes no renovables?

b) ¿Qué fuentes renovables conoces?

Comentarios

En este apartado realizaremos un recorrido por uno de los temas más importantes del enfoque Ciencia–Tecnología–Sociedad: las fuentes de energía. Se trata, en última instancia, que los alumnos y las alumnas lleguen a ser capaces de analizar críticamente la problemática de los recursos energéticos, incorporando en sus argumentos, mientras sea posible, los conocimientos científicos previamente adquiridos.

Partimos del hecho de la caducidad de las fuentes más empleadas —combustibles fósiles— para situarnos, lo antes posible, en el contexto de las fuentes renovables, que serán a las que dediquemos principal atención y desarrollemos en las siguientes actividades. Con las dos cuestiones propuestas se trata de que los estudiantes planteen nuevas visiones de la crisis energética suscitándose un debate que permita abordar la problemática ambiental.

Actividad 57

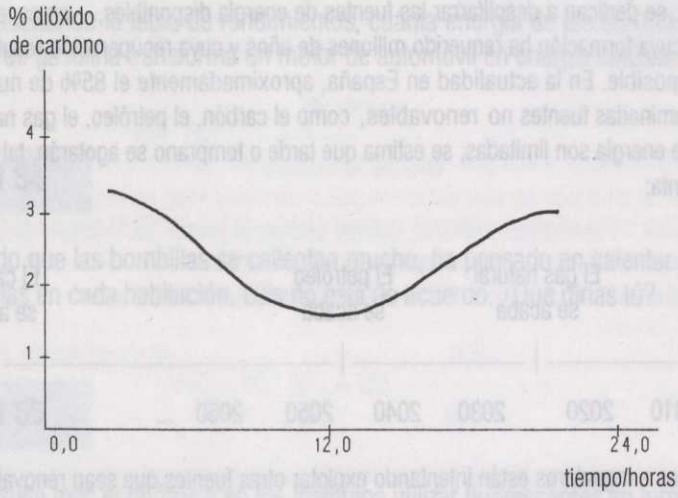
La energía producida en la fotosíntesis

El alimento de los animales, incluidos los seres humanos, proviene directa o indirectamente de la fotosíntesis que tiene lugar en las plantas. Durante este proceso, el dióxido de carbono y el agua se transforman en oxígeno y carbohidratos —compuestos orgánicos complejos—. La energía química de estos últimos es la que se libera en la descomposición dentro del cuerpo del animal.

Por cada gramo de contenido de carbono, estos combustibles liberan, aproximadamente, 2.392 J en forma de trabajo y calor, y de ello depende la vida de todos los animales (excepto la de algunos organismos que viven por fermentación).

a) ¿No es esto una contradicción de la ley de conservación de la energía?

b) La gráfica de la figura muestra el porcentaje de dióxido de carbono en el aire situado encima de un campo de césped durante un periodo de 24 horas.



- Describe cómo cambia el porcentaje de dióxido de carbono a lo largo del día. ¿Por qué lo hace de esa manera?
- ¿Qué esperarías que ocurriera con el porcentaje de oxígeno en la misma situación?
- ¿Qué sucedería con el porcentaje de dióxido de carbono en una concurrida calle de cualquier ciudad moderna durante las 24 horas del día? Razona la respuesta.

c) Considera ahora el caso de las plantas que no se comen. Analiza qué les sucede cuando quedan sobre la superficie terrestre o sepultadas debajo de ella.

Comentarios

Antes de entrar en las fuentes de energía renovables propiamente dichas, nos ocuparemos de la fotosíntesis. Esto abre varias posibilidades: ejemplificar la ley de conservación, ilustrar las relaciones entre las distintas disciplinas que componen el área, y por último, discutir el origen de algunas fuentes de energía, tanto no renovables —los combustibles fósiles—, como renovables —la biomasa—.

Actividad 58

LA BIOMASA

Se entiende por biomasa la materia orgánica que, ya sea directamente o ya sea sometida a un proceso de transformación, puede ser utilizada como fuente de energía primaria. Se distingue entre dos tipos de biomasa:

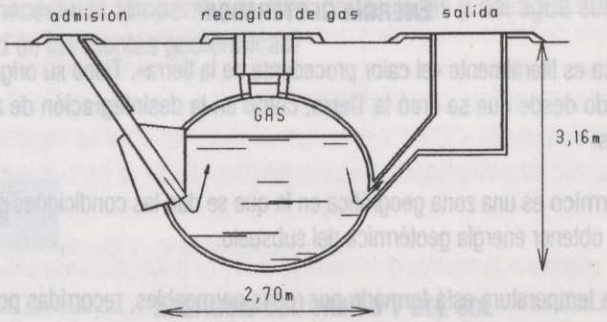
• Biomasa residual, tanto de origen vegetal como de origen animal. Pertenecen a este tipo los residuos forestales, los residuos agrícolas (leñosos o no), los residuos sólidos urbanos y residuos biodegradables (estiércol, vinazas, efluentes de mataderos, ...)

• Biomasa destinada específicamente a aplicaciones energéticas (plantaciones o cultivos energéticos).

Los métodos de conversión de la biomasa en combustible pueden agruparse en dos: conversión termoquímica y conversión bioquímica. De la primera, mediante gasificación y pirólisis, pueden obtenerse gas pobre, carbón vegetal y jugos piroleñosos. De la conversión bioquímica resultan, por diferentes procedimientos, bioalcohol y biogás.

El bioalcohol se obtiene mediante un proceso de fermentación alcohólica de plantas como la caña de azúcar, el sorgo, el narciso de agua, la pataca, etc. La utilización más habitual de bioalcohol es como combustible sustitutivo de la gasolina. En la actualidad, Brasil ha desarrollado un ambicioso plan de bioalcohol partiendo de la caña de azúcar.

El biogás se produce cuando las bacterias descomponen la materia orgánica en ausencia de aire. Tanto este proceso como el anterior son dos ejemplos de fermentación anaeróbica. El biogás contiene un 60% de metano, que es el combustible, y un 40% de dióxido de carbono. Esta fermentación es un tratamiento eficaz de los desperdicios, los cuales, de otro modo, podrían representar un riesgo para la salud. Además, deja un residuo útil como fertilizante. Los países donde más se ha desarrollado la producción de biogás son India (con 100.000 generadores) y China (con 7.000.000 generadores). Las figuras siguientes muestran un esquema del generador de biogás y una escena con el mismo en una aldea de la India.





Para que te hagas una idea de la energía contenida en el biogás, recuerda que 1 m^3 del mismo permite:

— Cocinar para 10 personas la comida de un día.

— Iluminar durante 6 horas como lo haría una bombilla de 60 W.

— Generar 1,25 kWh de electricidad.

a) ¿Qué ventajas e inconvenientes presenta un generador de biogás?

b) Una familia hindú necesita para cocinar alrededor de 3 m^3 de metano al día. Cada kilogramo de boñiga produce 0,034 m^3 de metano y una vaca suministra 7 kg de boñiga al día. ¿Cuántas vacas necesita la familia hindú para obtener todo el metano que precisa a partir de boñiga?

Comentarios

En esta actividad se presenta una aplicación tradicional de la biomasa como fuente de energía. Se pretende que los estudiantes comparen la forma de producir energía, a pequeña escala, en las aldeas y granjas de China e India con la tendencia existente en los países occidentales de concentrar dicha producción en gigantescas instalaciones. En el consiguiente debate, pueden plantearse cuestiones referentes a contaminación, dependencia energética de una región respecto a otra, de un país respecto a otro, etc.

Actividad 59

Energía geotérmica

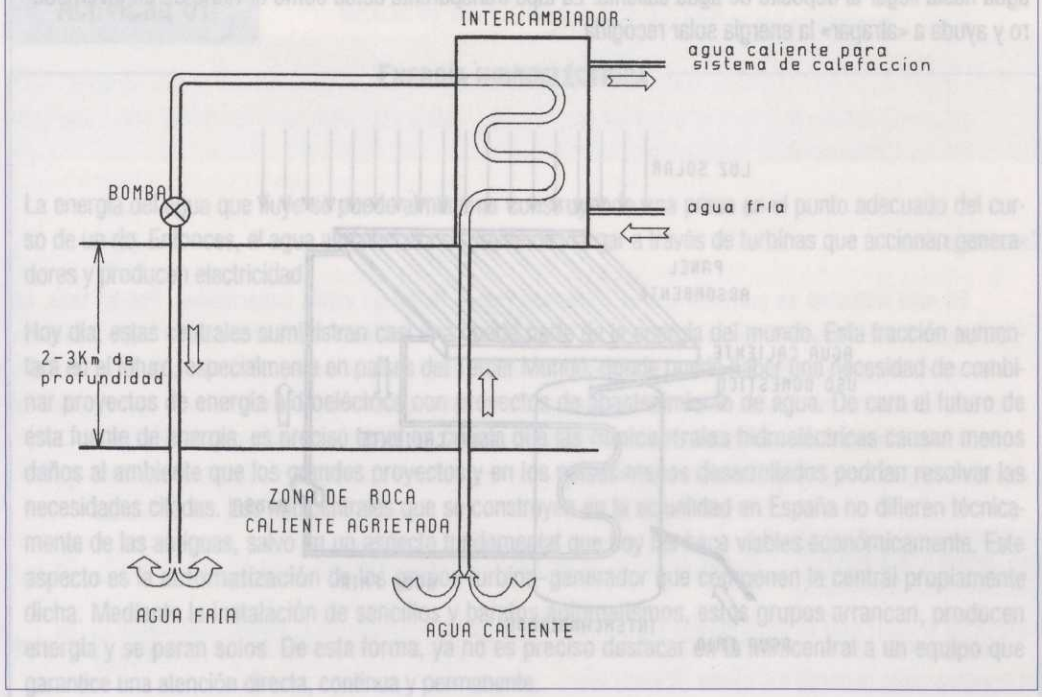
La **energía geotérmica** es literalmente «el calor procedente de la tierra». Tiene su origen tanto en la energía que ha permanecido desde que se creó la Tierra, como en la desintegración de algunos elementos radiactivos de las rocas.

Un **yacimiento geotérmico** es una zona geográfica en la que se dan las condiciones geológicas y económicas necesarias para obtener energía geotérmica del subsuelo.

Un **yacimiento** de alta temperatura está formado por rocas permeables, recorridas por un fluido (agua o vapor) a una temperatura de 150–180° C y selladas por rocas impermeables. Un yacimiento de **baja temperatura** es similar al anterior, con la diferencia de que el fluido tiene una temperatura de 60–90° C. Un tercer tipo de yacimientos se refiere a aquellos que no contienen fluido geotérmico; son los llamados yacimientos de **roca caliente seca**.

Los yacimientos más abundantes son los de alta temperatura con fluido líquido y se encuentran localizados en Méjico, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Filipinas, Islandia, El Salvador, ... Sin embargo, los yacimientos de alta temperatura con fluido gaseoso son los que tienen más potencia instalada; se encuentran en The Geysers (EE. UU.), Lardarelo (Italia) y Matsurawa (Japón).

La energía geotérmica de baja temperatura se suele emplear para la calefacción de invernaderos, granjas y viviendas. La de alta temperatura se aplica a la producción de electricidad. Se ha realizado un primer estudio de viabilidad para esta explotación en la isla de Tenerife. Para el aprovechamiento de las rocas secas calientes, se bombea agua fría a presión por agujeros de sondeo; esta agua es vaporizada por las rocas, vuelve a la superficie y el vapor es conducido hasta la turbina de una central eléctrica. Son de destacar los recursos, actualmente en fase de investigación, de roca caliente seca en Lanzarote y La Palma, donde se dan elevadas temperaturas a escasa profundidad (menos de 100 m o incluso la superficie).



¿Por qué son necesarias temperaturas altas de las rocas y del agua subterránea si se quiere obtener electricidad de las fuentes geotérmicas?

Actividad 60

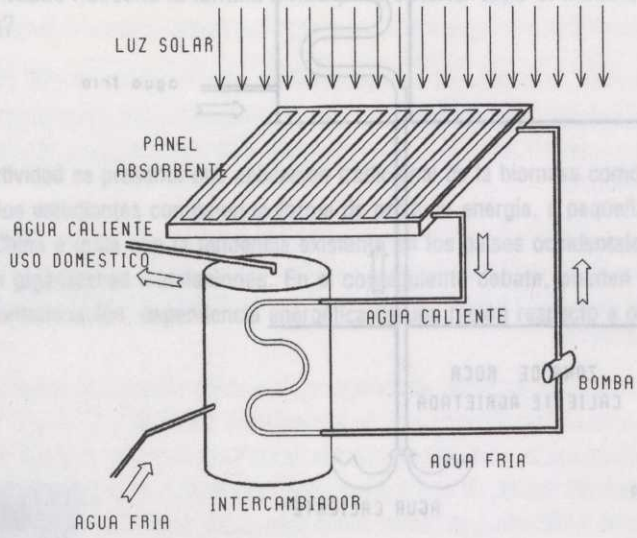
Energías del viento y del sol

Hoy día el molino de viento es una de nuestras fuentes renovables más prometedoras. Las llamadas turbinas eólicas se están utilizando para suministrar electricidad directamente a pequeños usuarios, como granjas y pueblos retirados, o, cuando su potencia aumenta, para suministrar energía a la red eléctrica nacional. En el Parque Eólico de La Muela (Zaragoza), inaugurado en mayo de 1987, se ha instalado un conjunto de 12 aerogeneradores de 13 kW de potencia cada uno, más dos prototipos de 75 kW y 110 kW. Los aerogeneradores están conectados a la red eléctrica mediante una estación transformadora. Se prevé una producción total, en año medio, de 1.214.000 kWh/año.

Otro proyecto experimental muy interesante es la planta eólico-solar de Manzanares (Ciudad Real). El colector de esta planta está formado por un recinto de 25.000 m^2 de superficie en cuyo centro se alza una gran chimenea. La cubierta de este colector es de poliéster estable a la acción de los rayos ultravioletas y resistente a todas las influencias climatológicas. Su funcionamiento es como sigue: la energía solar calienta, por efecto invernadero, el aire del colector; este aire caliente se difunde con rapidez creciente en dirección a la chimenea y sube por ella formándose un pequeño ciclón en su interior; estos remolinos de aire caliente, al llegar a la parte superior de la chimenea, hacen girar una turbina conectada a un generador eléctrico.

Respecto a la energía solar, aunque la producción a gran escala de electricidad puede, por ahora, no ser rentable, es posible usar paneles solares que suministren cantidades útiles de agua caliente para uso doméstico. La luz solar incide en los paneles absorbentes negros que tienen tuberías por las que circula el

agua hasta llegar al depósito de agua caliente. La tapa transparente actúa como el vidrio de un invernadero y ayuda a «atrapar» la energía solar recogida.



En países con más sol, como España, los colectores pueden consistir en **hornos solares** y calderas. Estos concentran los rayos de sol con una lente o con un espejo cóncavo para producir elevadas temperaturas en un fluido portador, que puede usarse para producir vapor que acciona turbinas y generadores. En el proyecto CESA-1 (Central Electrosolar de Almería), el sistema colector de rayos solares consta de 300 heliostatos (o espejos) móviles de 36 a 40 m^2, que suman en total 11.400 m^2 de superficie reflectante. Hay proyectos para construir centrales energéticas basadas en esta idea en la Comunidad Europea, la CEI y Estados Unidos.

La electricidad también puede ser producida directamente de la luz solar utilizando **células solares fotovoltaicas**, las cuales empezaron a usarse durante los programas espaciales en la década de los sesenta. Estas células se construyen a partir de elementos semiconductores, como el silicio, y pueden transformar la radiación solar en electricidad. En Carrina (California) se ha construido una central de este tipo con una potencia de 16,5 MW, mientras que en la Comunidad Europea están funcionando actualmente quince centrales más pequeñas de hasta 300 kW.

En 1984, la potencia eléctrica consumida por habitante en España fue 305 W. La potencia que recibimos del Sol, por término medio, es 220 W/m^2. Si la energía eléctrica fuera producida por células fotovoltaicas, ¿qué superficie de dichas células haría falta por habitante si tienen un rendimiento del 10%? Comenta el resultado.

Comentarios

En estas dos actividades se presentan varias fuentes de energías renovables, haciendo hincapié en su posible utilización en España, ya sea en fase de experimentación, ya sea en fase de explotación. El profesor puede completar los datos aportados con los de instalaciones similares de su entorno. En la Actividad 60, los alumnos y las alumnas tendrán que aplicar los conocimientos adquiridos respecto a energía, potencia y rendimiento a la situación concreta que se les plantea.

Actividad 61

ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

La energía del agua que fluye se puede almacenar construyendo una presa en el punto adecuado del curso de un río. Entonces, el agua almacenada se puede descargar a través de turbinas que accionan generadores y producen electricidad.

Hoy día, estas centrales suministran casi una cuarta parte de la energía del mundo. Esta fracción aumentará en el futuro, especialmente en países del Tercer Mundo, donde puede haber una necesidad de combinar proyectos de energía hidroeléctrica con proyectos de abastecimiento de agua. De cara al futuro de esta fuente de energía, es preciso tener en cuenta que las **minicentrales** hidroeléctricas causan menos daños al ambiente que los grandes proyectos y en los países menos desarrollados podrían resolver las necesidades citadas. Las minicentrales que se construyen en la actualidad en España no difieren técnicamente de las antiguas, salvo en un aspecto fundamental que hoy las hace viables económicamente. Este aspecto es la **automatización** de los grupos turbina-generador que componen la central propiamente dicha. Mediante la instalación de sencillos y baratos automatismos, estos grupos arrancan, producen energía y se paran solos. De esta forma, ya no es preciso destacar en la minicentral a un equipo que garantice una atención directa, continua y permanente.

a) Además de producir energía, las centrales hidroeléctricas tienen también otras consecuencias beneficiosas sobre el paisaje, la pesca, el turismo, los regadíos y la calidad del agua (gracias a la oxigenación que se produce a su paso por las turbinas). Sin embargo, algunas grandes centrales, por su localización, pueden tener un gran impacto ambiental. ¿Qué inconvenientes presentan estos grandes proyectos?

b) El cuadro siguiente recoge datos de las minicentrales por Comunidades Autónomas (1987).

	POTENCIA INSTALADA (MW)	ENERGÍA MEDIA PRODUCIDA (MILES DE kWh)	TEP
Andalucía	67,5	156,1	13,5
Aragón	46,8	202,0	
Asturias	3,6	16,9	
Canarias	0,8	2,8	
Cantabria	6,6	20,0	
Castilla La Mancha	42,6	118,0	
Castilla y León	42,1	113,2	
Cataluña	57,7	202,6	
Extremadura	10,5	19,5	
Galicia	34,6	78,8	
La Rioja	20,9	88,2	
Madrid	4,2	7,0	
Murcia	11,2	25,5	
Navarra	43,1	176,5	
País Vasco	12,2	50,0	
Valenciana	20,3	84,5	

Sabiendo que 1 TEP («tonelada equivalente de petróleo») = 10^{10} cal = $4{,}18.10^{10}$ J = 11.600 kWh, completa la columna de la derecha.

c) Representa en un único sistema de coordenadas, los histogramas correspondientes a la potencia instalada y a la energía producida. Las categorías en el eje horizontal son cada una de las Comunidades Autónomas.

Comentarios

En esta actividad se pretende que el alumnado ponga en juego varias capacidades. Por un lado, en un contexto de Ciencia–Tecnología–Sociedad, debe analizar el impacto medioambiental y las consecuencias sociales de las grandes centrales hidroeléctricas, al tiempo que toma conciencia de las posibilidades futuras de las minicentrales. Por otro lado, respecto a contenidos disciplinares, tiene la oportunidad de realizar cálculos de cambio de unidades y representaciones gráficas en un contexto interesante.

Actividad 62

La siguiente tabla se refiere a la producción interna y al consumo interno de energías primarias en nuestro país, durante los cinco últimos años.

LA SITUACIÓN ESPAÑOLA
PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA (1988–1992)
(MILES DE TEP)

	Petróleo	Carbón	Gas natural	Hidráulica	Nuclear	TOTALES
1988						
Consumo	44.282	15.248	3.440	3.035	13.151	
Producción	1.483	10.888	833	3.035	13.151	
1989						
Consumo	46.025	19.137	4.541	1.640	14.625	
Producción	1.086	11.867	1.425	1.640	14.625	
1990						
Consumo	47.175	19.025	5.000	2.203	14.138	
Producción	795	11.695	1.228	2.203	14.138	
1991						
Consumo	49.308	18.862	5.511	2.340	14.484	
Producción	1.067	10.426	1.248	2.340	14.484	
1992						
Consumo	50.077	19.191	5.851	1.601	14.537	
Producción	1.085	10.785	1.140	1.601	14.537	

(Fuente: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo)

a) ¿Cómo varía la producción de carbón? ¿Por qué se sigue importando carbón si disponemos de reservas? ¿A qué se deben las bruscas variaciones en la producción de energía hidráulica?

b) Calcula los totales y anótalos también en el cuadro siguiente.

GRADO DE DEPENDENCIA ENERGÉTICA			
Año	Consumo total (miles TEP)	Producción total (miles TEP)	Grado de dependencia $\frac{C - P}{C} \cdot 100$ (%)
1988			
1989			
1990			
1991			
1992			

c) Analiza el significado de la fórmula que se propone para calcular el grado de dependencia y calcúlalo en el cuadro anterior.

d) ¿Qué tendencia tiene el consumo? ¿Y el grado de dependencia?

e) ¿Cómo evoluciona la producción propia? ¿Qué energía primaria es la que más contribuye a ello?

Comentarios

El objetivo principal de esta actividad es que los alumnos y las alumnas reflexionen acerca de la dependencia energética de España y su evolución en los últimos años, a partir de la producción interna y el consumo interno de energías primarias.

Actividad 63

CONSUMO DE ENERGÍA POR HABITANTE Y AÑO (1.978)		
País	Consumo (TEC/año)	Consumo (J/día)
Estados Unidos	11,554	
Canadá	9,950	
Holanda	6,224	
URS	5,259	
España	2,399	
Argentina	1,804	
Méjico	1,227	
Portugal	1,050	
Colombia	0,685	
India	0,218	
Paraguay	0,189	
Mauritania	0,102	
Yemen	0,041	
Kampuchea	0,016	
Nepal	0,011	

a) Sabiendo que 1 TEC («tonelada equivalente de carbón») = 7.10^9 cal = $2{,}926.10^{10}$ J, completa la última columna de la tabla anterior.

b) Compara el consumo de un norteamericano con el de un español, un colombiano, un indio o un mauritano. Comenta los resultados.

c) Desde nuestra posición de país industrializado, ¿qué medidas deberíamos tomar para reducir estas desigualdades?

d) Analiza cómo ha sido la intervención de los países colonizadores a lo largo de la Historia.

Comentarios

En esta actividad, además de realizar cálculos de cambio de unidades en un contexto significativo, los estudiantes y las estudiantes deben comparar la «orgía energética» en que viven los Estados Unidos en relación a países como España y, a su vez, el consumo energético de nuestro país respecto a pueblos del Tercer Mundo, donde se ha instalado la pobreza como única propuesta de futuro. Se debe completar el debate analizando el papel jugado por los países ricos en la historia de los últimos siglos y aportando posibles soluciones.

Actividad 64

A modo de resumen, elabora un mapa conceptual en el que figuren, ordenados de lo general a lo particular, los principales conceptos que se han estudiado en esta Unidad didáctica.

Comentarios

Se trata, como es obvio, de una actividad de síntesis, que permite a los alumnos y alumnas tener una visión clara de la trama conceptual de la Unidad. Para que elaboren el mapa es necesario que los estudiantes hayan recibido la enseñanza adecuada, incluyendo ejercicios de entrenamiento con conceptos sencillos y relevantes. De no ser así, habría que recurrir a la utilización de esquemas o diagramas, cuya eficacia en la reorganización del conocimiento es, al parecer, menor.

Contenidos

A continuación se enumeran los contenidos (conceptos, procedimientos y actitudes) que se trabajan a lo largo de la Unidad.

Conceptos

- Concepciones de los estudiantes sobre energía, trabajo y calor.
- Características de la energía: transferencia, conversión, conservación y degradación.
- Disponibilidad de la energía.
- Sistema y sistema aislado.
- Trabajo y calor como formas de medir la energía transferida entre los sistemas.
- Definición operativa de trabajo.
- Significado físico del concepto de potencia.
- Unidades de energía.
- Energía asociada al cambio de posición.
- Energía asociada al movimiento.
- Carácter relativo de la energía potencial gravitatoria y de la energía cinética y carácter absoluto de sus variaciones.
- Ley de conservación de la energía cuando sólo intervienen las energías potencial gravitatoria y cinética.
- Teoría del calor.
- Teoría cinética del calor.
- La temperatura como medida de la energía cinética de las partículas constituyentes de la materia.
- Análisis de la historia de la ley de conservación de la energía.
- La degradación de la energía y su relación con la crisis energética actual.
- Rendimiento energético.
- Fuentes de energía renovables y no renovables.
- La fotosíntesis como ejemplo de la conservación de la energía.
- Aprovechamiento energético de la biomasa en países menos desarrollados.
- Energía geotérmica.
- Turbinas eólicas, paneles solares, calderas solares y células fotovoltaicas.
- Centrales y minicentrales hidroeléctricas.

- Producción y consumo internos de energía en España. Grado de dependencia energética.
- Consumo de energía por habitante y año en los distintos países del mundo.

Procedimientos

- Reconocimiento de situaciones de la vida diaria en las que interviene la energía.
- Descripción de un proceso en términos de las conversiones de energía que tienen lugar en el mismo.
- Representación del flujo de energía en un proceso mediante un diagrama de flechas.
- Estudio experimental de la degradación de la energía: realización del experimento, análisis e interpretación de los resultados.
- Cálculo del trabajo realizado por una fuerza y de la potencia en casos sencillos.
- Estimación de la potencia eléctrica que se debe contratar en un hogar mediante recuento de los aparatos existentes.
- Emisión de hipótesis acerca de los factores de que dependen el trabajo, la potencia y la energía cinética.
- Cálculo de la energía potencial gravitatoria y de la energía cinética, así como de sus variaciones, en algunos casos concretos.
- Utilización de textos de historia de la ciencia para el estudio de la ley de conservación de la energía.
- Cálculo del trabajo a partir de la evaluación de la energía transferida hacia o desde un sistema.
- Diseño de un experimento para comprobar la ley de conservación de la energía (versión restringida).
- Diferenciación, a partir de la descripción de un proceso físico dado, de los conceptos de energía potencial gravitatoria, energía cinética, fuerza y trabajo.
- Resolución de ejercicios en los que se conserva la suma de las energías potencial gravitatoria y cinética.
- Utilización de dos hipótesis diferentes (la teoría del calórico y la teoría cinética del calor) para explicar algunos fenómenos ligados al calor.
- Aplicación de la ley de conservación de la energía en el estudio del rendimiento de máquinas u otros dispositivos.
- Cálculos estimativos de magnitudes asociadas a dispositivos de energías renovables (generador de biogás, células fotovoltaicas, ...).
- Cálculos de cambios de unidades (J, kWh, TEC, TEP, ...).
- Realización e interpretación de representaciones gráficas de datos reales referidos a energías producidas y potencias instaladas.
- Comunicación oral y escrita de las discusiones, observaciones, experiencias, ...

Actitudes

- Valoración positiva del trabajo en grupo.
- Respeto y tolerancia hacia las opiniones ajenas.
- Valoración del papel de la ciencia en la sociedad, reconociendo sus efectos beneficiosos a la vez que sus limitaciones.
- Reconocimiento de la importancia de los métodos de la ciencia.
- Sensibilidad por la limpieza y el orden del lugar de trabajo.
- Utilización del material didáctico acorde con las instrucciones de uso y las normas de seguridad.
- Reconocimiento y valoración del trabajo bien hecho.
- Fomento de actuaciones tendentes al ahorro de energía en la vida diaria de cada persona.
- Valoración crítica del grado de dependencia energética de España.
- Sensibilización de que la utilización de la energía es un problema a escala planetaria.
- Valoración de las consecuencias sociales derivadas de la existencia de países pobres y ricos respecto a la disponibilidad y uso de la energía.
- Toma de conciencia de las posibilidades que presentan las fuentes renovables de energía de cara a la calidad de vida.

Criterios de evaluación

Como puede apreciarse, la cantidad de contenidos que se trabajan en la Unidad es muy grande, aunque algunos no son específicos de ésta, sino que se desarrollan a lo largo de todo el curso. Sería, por lo tanto, muy pretencioso intentar que todos los alumnos adquirieran tales contenidos al finalizar la Unidad didáctica. De ahí que, a continuación, presentemos una lista de los **criterios de evaluación** (los marcados con (*) corresponden a objetivos mínimos) que pensamos que pueden ser alcanzados por la mayoría de los estudiantes.

*1. Caracterizar el concepto de energía por sus propiedades.

*2. Identificar la transferencia, conservación y degradación de la energía en procesos de la Naturaleza o en situaciones de la vida diaria.

*3. Describir un proceso mediante la conversión de la energía de unas formas en otras.

*4. Representar la conservación de la energía en un proceso dado mediante un diagrama de flechas.

*5. Definir operativamente los conceptos de trabajo y potencia.

*6. Calcular el trabajo y la potencia en casos sencillos.

7. Expresar la energía en distintas unidades.

8. Estimar la potencia eléctrica que se debe contratar en una vivienda.

*9. Resolver ejercicios de aplicación de la ley de conservación de la energía en un caso sencillo (energía potencial gravitatoria y energía cinética).

*10. Relacionar los conceptos de calor y temperatura con la teoría cinética.

*11. Fomentar el ahorro energético en sus actuaciones cotidianas.

*12. Calcular el consumo, la energía útil y las pérdidas de energía de algunos aparatos a partir de tablas de rendimientos.

13. Distinguir entre fuentes de energía renovables y no renovables.

14. Enumerar las fuentes renovables más interesantes, así como algunos casos concretos de su utilización.

*15. Justificar la importancia de la fotosíntesis en relación con la energía.

*16. Representar gráficamente datos de energía relativos a nuestro país e interpretarlos.

*17. Ser consciente de las grandes desigualdades que respecto al consumo de energía por habitante se presentan en las distintos países del mundo.

*18. Estar sensibilizado por el tratamiento que, a escala mundial, se hace de la energía (explotación de las fuentes, contaminación, producción, distribución, consumo, ...).

Esquema de evaluación

El esquema de evaluación que se muestra a continuación nace de la experiencia acumulada con nuestros alumnos en los cursos anteriores (Rodríguez, Gutiérrez y Molledo, 1992). Se trata, con todo, de una propuesta provisional, en el sentido de que cada profesor o profesora deberá adaptarlo a la situación que se presente en las aulas después de conocer las sugerencias de los estudiantes. También es provisional porque se debe modificar a la luz de las deficiencias que pudieran observarse en su funcionamiento.

El esquema incluye cuatro grandes núcleos, alrededor de los cuales girará la valoración de los estudiantes y las estudiantes, que se citan a continuación:

- Notas de los exámenes
- Análisis del cuaderno
- Observaciones en el aula y en el laboratorio
- Trabajo en casa

En cada uno de estos bloques se consideran, como se verá, uno o más factores. La calificación en conjunto de cada estudiante se obtiene teniendo en cuenta todos ellos, aunque el peso que deba darse a cada núcleo también puede ser objeto de negociación entre el profesorado y el alumnado. Pasamos a comentar cada uno de los citados bloques.

Notas de los exámenes

A pesar de las limitaciones que presenta en cuanto a validez y fiabilidad, es difícil abandonar el examen como instrumento de valoración. Los motivos son diversos. El profesorado, en general, no ha recibido la formación que le permita considerar todos los factores que intervienen en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Otras pruebas, distintas a los exámenes, no suelen gozar de mucha credibilidad, pues proceden de campos supuestamente «menos científicos». Nosotros, sin embargo, creemos que la importancia del examen debe ser relativizada con la introducción de otros bloques de valoración.

En el diseño de los exámenes propugnamos que se especifique el campo que se desea medir y el patrón de medida. Sus características técnicas mejoran si se indica qué objetivos (de conocimiento, de comprensión, de aplicación o de análisis) (Kempa, 1986) y en qué proporción se deben incluir en cada prueba (Bloom, 1971). Está claro que unos contenidos se prestan más que otros al desarrollo de objetivos de uno u otro nivel. Para 4º de ESO, creemos que un examen debería presentar, por término medio, las siguientes proporciones:

HABILIDADES	PORCENTAJE APROXIMADO DE PUNTOS
Conocimiento: habilidades para recordar	50%
Comprensión: habilidades para interpretar y traducir información	20%
Aplicación: habilidades para aplicar los conocimientos a nuevas situaciones	20%
Análisis/Síntesis/Evaluación: habilidades para analizar, sintetizar y evaluar informaciones y datos	10%

Como puede verse, el mayor número de preguntas se centra en las habilidades de menor exigencia intelectual —las de recuerdo—, lo que unido a la consideración de los otros aspectos mencionados —cuaderno, trabajo de clase, etc.— hará posible el conocido objetivo (Gil, 1982): *«todo estudiante que trabaja debe aprobar»*. Esto no significa, sin embargo, que los estudiantes y las estudiantes más interesados y «más capaces» carecen de la oportunidad de demostrarlo, ya que la prueba incluye también otras cuestiones que permiten valorar las habilidades que presentan una mayor demanda cognitiva: desde la comprensión hasta la evaluación.

Confeccionar exámenes que sean fiables y válidos supone un gran esfuerzo, que sólo se verá recompensado con el éxito, una vez más, si la tarea es realizada por el equipo de profesores.

A continuación se muestran **algunos ejemplos de preguntas de examen, agrupadas de acuerdo con las habilidades que se están evaluando:**

Conocimiento

- Indica las conversiones de energía que se producen en los siguientes procesos (La energía de los seres humanos y de los animales, derivada de los alimentos, es energía química).

  a) El viento mueve las aspas de un molino que acciona una noria, la noria eleva el agua desde un río hasta una acequia que está a un nivel más alto.

  CAMBIOS DE ENERGÍA: .....

  b) El encargado enciende la mecha, la pólvora arde y los gases calientes producidos en el cilindro lanzan hacia arriba una carcasa de fuegos artificiales, la cual da lugar a un bello espectáculo de luz y sonido.

  CAMBIOS DE ENERGÍA: .....

- ¿Qué queremos indicar con la frase: «La energía se degrada»?
- Escribe unas cuantas frases para justificar la importancia de **James Joule** en la clarificación de los conceptos de calor y energía.
- Enumera las fuentes de energía renovables que conozcas. Cita, para cada una de ellas, una aplicación de aprovechamiento.

Comprensión

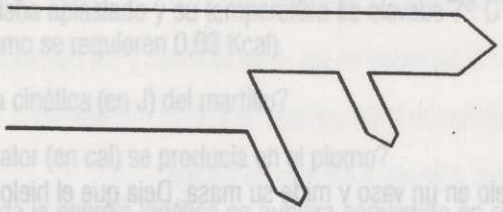
- Las dos frases siguientes se refieren a una de las propiedades de la energía. ¿Cuál?:

  La lámpara consume energía eléctrica y produce luz y calor

  El tren se mueve gracias a la energía que le proporciona el carbón en la combustión

  Escribe una tercera frase que se refiera a la misma propiedad.

- Considera el siguiente proceso: *un jugador de tenis golpea fuertemente la pelota, se oye el golpe, las cuerdas de la raqueta se deforman ligeramente y la bola sale «a toda pastilla»*. El diagrama de flechas que permite representar de dónde viene y a dónde va la energía tiene el siguiente aspecto. Complétalo.



Sabes que el trabajo realizado sobre un sistema se invierte en modificar su energía. De acuerdo con esta afirmación, ¿en cuál de las siguientes situaciones se realiza trabajo sobre los sistemas que se han subrayado?

— Empujamos la *pared* del aula

— Levantamos un *libro* del suelo

— Frotamos repetidamente la *mesa* con la mano

La potencia media de los aparatos de una vivienda normal se muestran en la tabla siguiente:

Alumbrado	1.000 W
Plancha	1.200 W
Secador	1.000 W
Aspirador	700 W
Frigorífico	500 W
Lavadora	2.500 W
Lavavajillas	3.000 W
Televisor	200 W
Ordenador	100 W
Cocina con horno	5.000 W
Batidora	150 W
Radio	20 W
Equipo de música	120 W

a) Si la potencia contratada es de 5,5 kW, ¿qué aparatos de la cocina pueden conectarse a la vez?

b) ¿Por qué se contrata con la compañía eléctrica una potencia inferior a la potencia total instalada?

Carlos arrastra horizontalmente, mediante una cuerda, un camión de juguete; si ejerce una fuerza de 15 N, calcula el trabajo realizado sobre el camión cuando Carlos ha recorrido el pasillo de su casa que mide 5 m.

¿Qué potencia desarrolla Carlos si tarda 10 s en recorrer el pasillo? Expresa el resultado en CV.

¿Qué trabajo se realiza para elevar una piedra de 300 kg de masa a una altura de 400 m? ¿Qué energía potencial gravitatoria crees que tiene la piedra una vez que se encuentra a 400 m sobre el nivel del suelo?

En la combustión de 1 litro de butano se obtiene una energía de 112.000 J. ¿Cuánto calor proporcionará una estufa de gas butano, cuyo rendimiento es del 85%, si se queman 10 l de dicho gas?

Aplicación

a) Pon un trozo de hielo en un vaso y mide su masa. Deja que el hielo se funda y vuelve a medir su masa. ¿Se observa alguna variación?

b) El resultado obtenido en el apartado anterior, ¿contradice alguna teoría del calor? Justifica la respuesta.

La energía de un coche en movimiento se transforma en calor al detenerse, lo que afecta principalmente al sistema de frenos. ¿Sería posible aprovechar esta forma de energía para poner de nuevo el coche en marcha? ¿Por qué?

Dos vehículos de 1.400 kg y 700 kg de masa se desplazan en línea recta por una carretera horizontal a 29 m/s cuando, de repente, se quedan sin gasolina. Hay una ciudad en un valle no lejos de allí, pero está justo detrás de una colina de 40 m de altura. Si se supone despreciable el rozamiento, ¿llegará alguno de los vehículos a la ciudad?

Análisis, síntesis y evaluación

La tabla siguiente muestra, para los últimos cinco años, el consumo interior y la producción interior de petróleo en España.

AÑOS	CONSUMO INTERIOR (miles de TEP)	PRODUCCIÓN INTERIOR (miles de TEP)	(P/C).100 (%)
1988	44.282	1.483	
1989	46.025	1.086	
1990	47.175	795	
1991	49.308	1.067	
1992	50.077	1.085	

a) Calcula qué porcentaje del consumo representa la producción. Completa, para ello, la columna de la derecha.

b) Analiza qué consecuencias tiene esto en el diseño de nuestro PEN respecto a:

— La dependencia energética del petróleo que tiene España

— El ahorro de divisas

— La vulnerabilidad a fluctuaciones externas

Supón que dispones de un *diablillo* microscópico y amaestrado con el que puedes golpear a voluntad las partículas que constituyen las sustancias. Si dicho *diablillo* actúa sobre una porción de agua, ¿qué le pasará a la energía interna del agua? ¿Y a la temperatura? ¿Por qué?

En un experimento realizado por el científico francés Hirn un martillo pilón de 400 kg de masa, que se movía a 5 m/s, golpeaba contra un bloque de plomo de 3 kg apoyado sobre un pesado yunque. El plomo quedaba aplastado y su temperatura se elevaba 7° C (Para elevar 1° C la temperatura de 1 kg de plomo se requieren 0,03 Kcal).

a) ¿Cuál era la energía cinética (en J) del martillo?

b) ¿Qué cantidad de calor (en cal) se producía en el plomo?

c) Suponiendo que toda la energía cinética se hubiera convertido en calor en el plomo, calcula a cuántos julios equivale una caloría.

d) Da alguna razón de por qué la suposición del apartado **c)** no está plenamente justificada. Estas imprecisiones, ¿tenderán a proporcionar un resultado demasiado grande o demasiado pequeño?

Se utiliza en este bloque el parámetro **Media**, que representa la media aritmética de las calificaciones obtenidas en los exámenes realizados desde el comienzo del curso hasta el momento de hacer cada una de las evaluaciones.

Análisis del cuaderno

Proponemos que el profesor o la profesora valoren numéricamente los factores, u otros parecidos, que se indican seguidamente:

— Presentación: limpieza, orden, ...

— Exposición separada de las propias ideas (o las del grupo de trabajo) y de las resultantes de la puesta en común

— Descripción completa de las actividades experimentales, incluyendo:

- Planteamiento del problema
- Emisión, en su caso, de hipótesis
- Diseño y planificación del experimento
- Interpretación de datos y establecimiento de conclusiones

— Explicación cualitativa de los ejercicios numéricos

Estos factores se recogen en el parámetro C_{global}, que representa la media aritmética de las puntuaciones anteriores.

Observaciones en el aula y en el laboratorio

Respecto al trabajo en el aula, se pueden valorar los siguientes factores:

— Hace el trabajo propuesto en clase

— Hace preguntas o contesta a otras formuladas por el profesor o sus compañeros

— Participa en el trabajo del grupo

Las puntuaciones de estos factores, que pueden establecerse de manera individual o colectiva, se recogen en el parámetro A_{global}, que representa la media aritmética de las puntuaciones anteriores.

Respecto al trabajo en el laboratorio, se pueden medir los siguientes factores:

— Manejo correcto de aparatos y materiales

— Rigor para asegurar la fiabilidad de las observaciones y los resultados

— Utilización eficaz del tiempo y del espacio de trabajo disponibles

— Recogida del material y limpieza del área de trabajo

Las puntuaciones de estos factores deben ser, obviamente, para todos los componentes del grupo. Se recogen en el parámetro L_{global}, que representa la media aritmética de las puntuaciones anteriores.

Trabajo en casa

Para valorar este bloque se utiliza el parámetro $Trab_{casa}$, que es la media aritmética de todas las calificaciones obtenidas, desde el comienzo del curso, en las actividades propuestas para hacer individualmente en casa.

Por último, cabe hacer alguna referencia a la práctica real de este método de evaluación. En cualquier momento del curso, después de transcurrido un tiempo prudencial, el profesor o la profesora dispone de las puntuaciones indicadas por los parámetros:

NOTAS DE LOS EXÁMENES	Media	
ANÁLISIS DEL CUADERNO	C_{global}	
OBSERVACIONES EN EL AULA Y EN EL LABORATORIO	A_{global}	L_{global}
TRABAJO EN CASA	$Trab_{casa}$	

La calificación del alumno o de la alumna se obtiene, como ya se ha mencionado, ponderando estos cinco números. Dado que el estudiante debe percibir los avances de su propio aprendizaje, estas puntuaciones deben comunicarse a los interesados. Es conveniente hacerlo mediante un breve informe. No resulta difícil transcribir estas calificaciones numéricas a un lenguaje más comprensible. Las cifras deberían ser, únicamente, un recurso para el profesor, ya que son fáciles de manejar. Ahora bien, de cara al estudiante sería preferible evitar la información cuantitativa, y dar en su lugar, como dice Alonso Tapia (1991), la información cualitativa relativa a lo que el alumno o la alumna necesita corregir o aprender. No se debe olvidar que, para nosotros, la evaluación no tiene tanto la finalidad de clasificar como la de constituirse en un instrumento para favorecer el aprendizaje.

Bibliografía y recursos

La bibliografía sobre energía es extensísima. Aquí sólo se citan los materiales que han tenido que ver de forma directa con la elaboración del presente documento.

Artículos de revistas. Investigación sobre la didáctica de la energía

BLISS, J. y OGBORN, J. «Children's choices of uses of energy». *European Journal Science Education*. 7 (2). 195-203, 1985.

BOYES, E. y STANISSTREET, M. «Pupil's ideas concerning energy sources. International». *Journal of Science Education*. 12 (5). 513-529, 1990.

DRIVER, R. y WARRINGTON, L. «Students' use of the principle of energy conservation in problem situations». Physics Education. 20. 171-176, 1985.

DUIT, R. «Understanding Energy as a Conserved QuantityRemarks on the Article by R. U. Sexl». *European Journal of Science Education*. 3. 291-301, 1981.

DUIT, R. «Learning the energy concept in school-empirical results from The Philippines and West Germany». *Physics Education*. 19. 59-66, 1984.

HIERREZUELO, J. y MOLINA, E. «Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato». *Enseñanza de la Ciencias*. 8 (1). 23-30, 1990.

LIJNSE, P., «Energy between the Life-World of Pupils and the World of Physics», *Science Education*. 74 (5). 571-583, 1991.

LÓPEZ RUPÉREZ, F. y LÓPEZ RUPÉREZ, E. «Las nociones de trabajo y energía. Análisis conceptual y didáctico». *Bordón*. 249. 497-506, 1983.

SEVILLA, C. «Reflexiones en torno al concepto de energía. Implicaciones curriculares». *Enseñanza de las Ciencias*. 4 (3). 247-252, 1986.

SOLOMON, J. «Learning about energy: how pupils think in two domains». *European Journal of Science Education*. 5 (1). 49-59, 1983.

SOLOMON, J. «Teaching the conservation of energy». *Physics Education*. 20. 165-170, 1985.

SUMMERS, M. K. «Teaching heat an analysis of misconceptions». *School Science Review*. 64. 670-676, 1983.

TRUMPER, R. «Being constructive: an alternative approach to the teaching of energy concept-part one». *International Journal of Science Education*. 12 (4). 343-354, 1990.

TRUMPER, R. «Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept-part two». *International Journal of Science Education*. 13 (1). 1-10, 1991.

VEGA ALONSO, M., y AGAPITO SERRANO, M. «Los conceptos de trabajo mecánico, energía y calor». *Revista de Bachillerato*. 56-59, 1978.

WARREN, J. W. «The nature of energy». *European Journal of Science Education*. 4 (3). 295-297, 1982.

WARREN, J. W. «Energy and its carriers: a critical analysis». *Physics Education*. 18. 209-212, 1983.

WATTS, M. «Some alternative views of energy». *Physics Education*. 18. 213-217, 1983.

Proyectos y materiales curriculares de interés

AYENSA, J. M., GUTIÉRREZ, F. A., MOLLEDO, J. y RODRÍGUEZ, L. M.ª. *El aprendizaje cooperativo de la Física y la Química. Un proyecto para la Educación Secundaria*. Mira: Zaragoza, 1993.

CALATAYUD, M.ª. L. *et al. La construcción de las ciencias físico-químicas*. Nau, Valencia.

CHILDREN'S LEARNING IN SCIENCE PROJECT (C. L. I. S. P.). *Approaches to teaching Energy*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. University of Leeds: Reino Unido, 1987.

GRUP RECERCA-FARADAY. *Física Faraday*. Teide, Barcelona, 1988.

HILL, G. y otros. CHEMISTRY: THE SALTERS' APPROACH. Heinemann, London, 1989.

LÓPEZ RUPÉREZ *et al. Proyecto de enseñanza individualizada de ciencias experimentales*. ICE Univ. Autónoma, Madrid, 1983.

NUFFIELD: *Física básica*. Reverté, Barcelona, 1984.

NUFFIELD CO-ORDINATED SCIENCES. Longman, Essex, 1988.

SCIENCE AND TECHNOLOGY IN SOCIETY (16-19). S. A. T. I. S.. A. S. E., Herts: Reino Unido, 1986.

Manuales y textos de divulgación

ALONSO, M., FINN, E. J. *Física (1er vol.) Mecánica*. Fondo Educativo Interamericano, México, 1976.

FEYNMAN, R. «Los grandes principios de la conservación». *El carácter de la ley Física*. Antoni Bosch, Barcelona, 1983.

FEYNMAN, R., LEIGHTON, R. B. y SANDS, M. *Física* (vol. I). Fondo Educativo Interamericano, México, 1971.

HECHT, G. *Física en perspectiva*. Addison Wesley Iberoamericano, México, 1987.

SHAPIRO, G. *Física sin matemáticas*. Alhambra, Madrid, 1981.

SMORODINSKI, Ya. *La temperatura*. Mir, Moscú, 1983.

TIPLER, P. A. *Física Preuniversitaria*. Reverté, Barcelona, 1991.

Historia de la ciencia

CARCAVILLA, A. «La Historia de la Ciencia: una fuente de ideas para la introducción de conceptos de Física». *Aspectos didácticos de Física y Química (Física)*. 4. I. C. E., Zaragoza, 1990.

DERRY, T. K. y WILLIAMS, T. I. *Historia de la Tecnología*. (3 vol.). Siglo XXI, Madrid, 1980.

HARMAN, P. M. *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*. Alianza, Madrid, 1990.

HOLTON, G. y BRUSH, S. G. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Reverté, Barcelona, 1984.

KUHN, Th. S. «La conservación de la energía». *La tensión esencial.* FCE, México, 1982.

PRIGOGINE, I. y STENGERS, I. *La nueva alianza. Metamorfosis de la Ciencia*. Alianza, Madrid, 1990.

Evaluación

BLOOM, B. S. (Ed.). *Taxonomía de los objetivos de la educación. Clasificación de las metas educativas*. Tomo I: Ambito del conocimiento. Marfil, Valencia, 1979.

KEMPA, R. *Assessment in Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986.

RODRÍGUEZ, L. M.ª, GUTIÉRREZ, F. A. y MOLLEDO, J. «Una propuesta integral de evaluación en ciencias». *Enseñanza de las Ciencias*. 10(3). 254-267, 1992.

Otras referencias

AUSUBEL, D. P. *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, México, 1976.

DRIVER, R. «Students' conceptions and learning of science». *International Journal of Science Education*. 11. 481-489, 1989.

GIMENO, J. *La pedagogía por objetivos. Obsesión por la eficiencia*. Morata, Madrid, 1982.

GUIDONI, P. «On natural thinking». *European Journal of Science Education*. 7. 133-140, 1985.

HASHWEH, M. «Toward an explanation of conceptual change». *European Journal of Science Education*. 8. 229-249, 1986.

POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. y GERTZOG, W. «Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change». *Science Education*. 66(2). 221-227, 1982.

POZO, J. I. *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Morata, Madrid, 1989.

SHAYER, M. y ADEY, P. *La ciencia de enseñar ciencias*. Narcea, Madrid, 1984.

SCHUTZ, A. y LUCKMANN, T. *The structures of the life world*. Heinemann, London, 1973.

Vídeos y programas de ordenador

Energía. Open University. Distribuye Áncora Audiovisual, Barcelona.

¿Qué es la Energía? Near, Bilbao.

Fuentes de energía Near, Bilbao.

Microlaboratorio de resolución de problemas por ordenador (Degem Systems/Prodel: Programa de Nuevas Tecnologías).

Segunda Unidad didáctica: Los seres vivos cambian

Segunda Unidad didáctica:
Los seres vivos cambian

Introducción

La comprensión significativa de los procesos de cambio de la Tierra y las especies de seres vivos que en ella habitan ha sido estudiada en varias ocasiones. Durante los últimos años han aparecido en la literatura varios trabajos de investigación al respecto, siendo los más destacados aquéllos que apuntan a la dificultad de comprensión del fenómeno evolutivo como un proceso aleatorio y seleccionado por el medio. Quizá este escollo tenga relación con la dificultad registrada en el campo de las matemáticas para comprender las leyes del azar y de la probabilidad; en todo caso, se ha demostrado suficientemente que la interpretación del alumnado del fenómeno de las adaptaciones y la evolución es tendente al finalismo («se adaptan para..., se adaptan a...»), se centra sobre todo en los animales, no tiene una base genética ni de herencia y se puede obtener en el transcurso de la vida biológica (cuando se conoce la existencia de las mutaciones es frecuente que se piense que éstas pueden darse en individuos ya desarrollados, que se transforman a partir de ese momento).

El concepto de cambio evolutivo es bastante polisémico, ello quiere decir que podemos utilizar las mismas palabras con significados bastante diferentes (según el contexto en que las utilicemos): se utilizan en el «argot» de la historia, la sociología, en la prensa, en textos de economía, etc. Continuamente se habla de la «Ley del más fuerte», o de «las leyes de la supervivencia» por citar algunos ejemplos.

Esta característica hace más difícil el trabajo acerca del concepto científico de evolución, porque cada persona va a entender las palabras que utilicemos con un matiz diferente.

Sin embargo, éste es un conocimiento del cual no podemos escapar en estos niveles básicos, porque es ya un hecho cultural, posiblemente no deberíamos abordar este concepto y los que se relacionan con él hasta llegar a niveles de abstracción conceptual más altos, pero en este caso la sociedad lo impone.

Reflexionando sobre estos aspectos y basándonos en los trabajos de investigación acerca de las ideas espontáneas del alumnado y del aprendizaje de los conceptos relacionados con la evolución, podremos decir que una comprensión significativa de los procesos de mutación, de los fenómenos sujetos a las leyes del azar, de una selección de sesgo impredecible, la transmisión de caudales genéticos por dinámica de poblaciones, etc, no son posibles para la mayor parte de la población escolar de 16 años. Por tanto deberemos ser consecuentes con esta dificultad y valorar el aprendizaje de los mismos a partir de las ideas previas y conocimientos no estructurados que ya poseyeran nuestros alumnos y alumnas, nunca pensando en llegar a un conocimiento básico correcto sino, más bien, pensando en lograr una evolución y un progreso en su red de conocimientos, por pequeña que ésta sea.

Por estas razones pretendemos partir del estudio y análisis de algo concreto, las muestras fósiles, planteando problemas que permitan el acercamiento a los conceptos, más que dando definiciones a textos que expongan los conocimientos.

Por otra parte, la bibliografía muestra que las concepciones del alumnado respecto del origen de los seres vivos es espontaneísta y que los mecanismos de adaptación y cambio en los que creen son de tipo «la función hace al órgano», es decir, son concepciones Lamarkianas del proceso evolutivo.

Pero este tipo de conceptos, no parecen comportarse como un obstáculo epistemológico, es decir, no obstaculizan el aprendizaje en sí mismo, sino que son concepciones que el alumnado no encuentra contradictorias con las propuestas científicas por lo que pueden coexistir con ellas, de manera que no se ve contradicción alguna en aceptar una «aparición» de microorganismos de forma espontánea en una materia en descomposición y aceptar al mismo tiempo que otros microorganismos o mohos, etc., pueden provenir de esporas o «células de reproducción» de microorganismos anteriores. Tampoco existe ninguna dificultad en aceptar que los organismos mayores provienen de la reproducción de otros organismos como ellos.

Desde el punto de vista de las adaptaciones, no se ve contradicción alguna entre adaptarse a un factor del medio por «necesidad» y que la adaptación sea el resultado de una mutación al azar seleccionada por el medio en el que se desarrolla una población, en realidad cuando contraponemos estas dos concepciones estamos contraponiendo cosas diferentes: cuando escuchamos a nuestro alumnado hablar de que «los topos han atrofiado los ojos porque viven en la oscuridad» estamos oyendo hablar de un resultado, no de un proceso, y cuando trabajamos con ellos las ideas de «una variación mutacional en la que resulta seleccionado por el medio la población de topos con los ojos atrofiados porque presenta menor irritabilidad e indefensión en un medio donde no se usan», estamos hablando de un proceso, son dos planos diferentes y por tanto va a ser muy difícil controlar si de verdad se produce un cambio conceptual en nuestro alumnado.

A partir de este razonamiento, nuestra Unidad didáctica va más encaminada a conseguir un planteamiento más científico centrado en cómo ocurren los procesos que a conseguir un conocimiento más correcto de la evolución. Por ello la secuencia de actividades está dirigida al análisis de situaciones y ejemplos y a la búsqueda de la coherencia en las explicaciones, y no a la obtención de «verdades científicas», a la interpretación que a la exposición. En este sentido se dirigen también las actividades de evaluación propuestas.

Desde el punto de vista metodológico, se plantea el desarrollo de esta secuencia de actividades como una secuencia de problemas. Evidentemente, los problemas planteados no tienen las mismas características epistemológicas que los problemas de Matemáticas o los problemas de Física. Entendemos por problemas, en este caso, aquellas situaciones planteadas para las que no se posee una única respuesta inmediata, como resultado de la aplicación de un algoritmo o un concepto científico aislado.

En una situación «problema» deberán intervenir varios factores y en el transcurso de la acción docente habrá de promoverse que se emitan hipótesis acerca de cuáles serán esos factores y por qué. La contrastación de esas hipótesis con documentos y con datos empíricos llevará a la «reconstrucción» de conceptos biológicos complejos.

En el caso que nos ocupa, la evolución de los seres vivos, los problemas planteados no pueden desarrollarse a partir de pequeñas investigaciones y en muchas ocasiones tampoco disponemos de datos empíricos, es más, la comunidad científica no puede realizar predicciones de futuro que puedan contrastarse, porque el lapso de tiempo que debería transcurrir sería de millones de años y las variables implicadas son tantas que resultaría imposible controlarlas.

Pero sí que podemos realizar un trabajo especulativo e hipotético-deductivo a partir de los datos que poseemos actualmente y de los datos que nos suministra la paleontología, la ecogeografía y las relaciones entre los grupos taxonómicos.

Además, en este tema de estudio se presenta una buena oportunidad para realizar observaciones de fósiles naturales y fomentar actitudes de cuidado y conservación.

Desarrollo de la Unidad didáctica

Programa de actividades

En esta Unidad se pretende partir del estudio de situaciones concretas, las muestras fósiles e ir planteando problemas que vayan facilitando el acercamiento a una concepción adecuada sobre la evolución y la adaptación. Los puntos que se van a tratar son:

1. Seres vivos del pasado.

2. Seres vivos y cambios

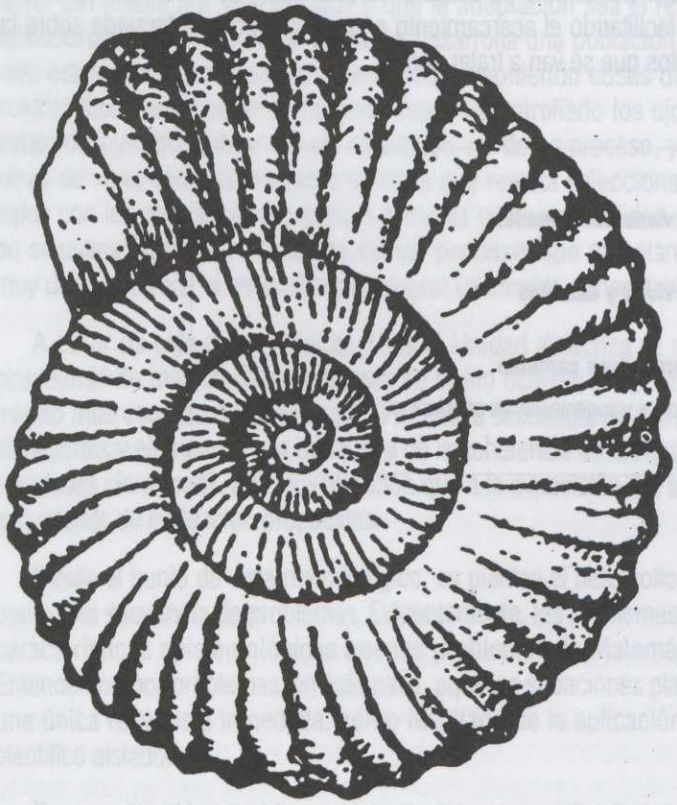
3. Los seres vivos cambian

Cuestiones y sugerencias de ampliación.

1. Seres vivos del pasado

Actividad 1

En esta figura se puede ver la impresión de una roca encontrada en Utrillas (Teruel), ¿qué dirías que es esta pieza?, ¿cómo es que tiene esa forma tan distinta de las demás rocas que solemos ver a nuestro alrededor?



Comentarios

Esta actividad inicial pretende servir de introducción y desencadenante de una reflexión y explicitación de las ideas que pueda tener el alumnado acerca de los fósiles y la fosilización.

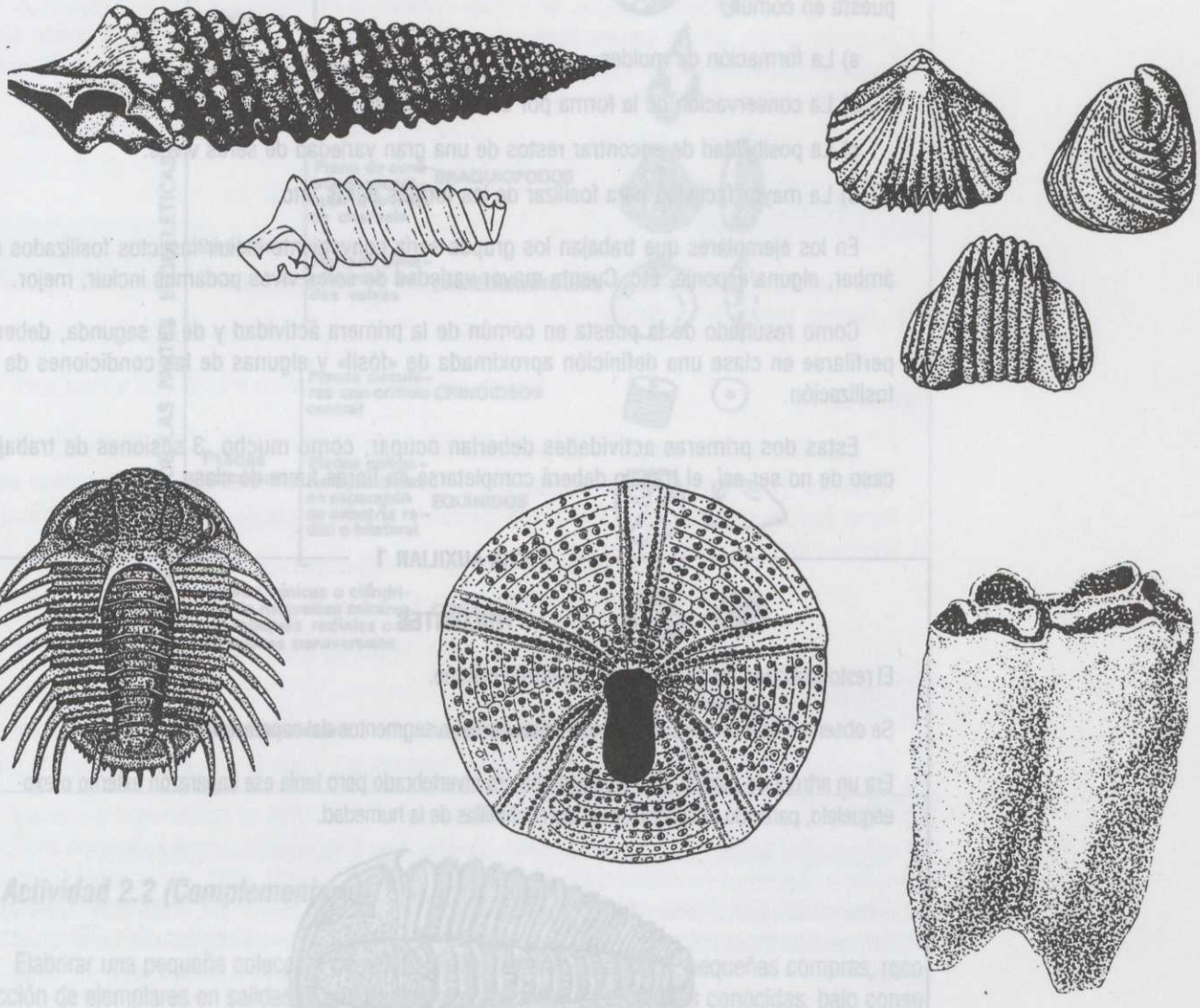
Puede sustituirse la figura por un ejemplar de un fósil que sea muy bueno y bastante completo, preferentemente de un ser vivo reconocible por un observador inexperto.

Actividad 2

• *Actividad 2.1*

Examina la serie de ejemplares fosilizados, con cuidado y con ayuda de la lupa.

Anota en el cuaderno sus nombres y características más sobresalientes.



Al menos intenta contestar las siguientes preguntas con respecto a cada uno de ellos:

a) ¿A qué tipo de ser vivo corresponde?

b) ¿Qué parte del ser vivo es la que ha fosilizado y se está observando?

c) Consultando la bibliografía auxiliar averiguar qué tipo de ser vivo era, dónde vivía (en qué ambiente), de qué se alimentaba, hace cuántos millones de años vivió...

Comentarios

En la mesa de cada grupo de trabajo deberá haber al menos: un molde interno fosilizado, un molde externo, una impresión de hoja, una pieza de helecho fosilizado, un hueso de mamífero miocénico (los más fáciles de encontrar), un amonites, un equinoideo fosilizado, un diente de escualo, ... Todos ellos son muy fáciles de hallar o se pueden adquirir a buen precio.

Cada grupo de trabajo debe disponer de un conjunto de fósiles similar para poder discutir sobre los mismos ejemplos en la puesta en común. A partir de estos ejemplares y con la ayuda de la bibliografía de aula, al menos un par de libros auxiliares por grupo, se puede intentar reconstruir el proceso de formación de moldes, de impresiones de hojas y formas laminares, etc.

De lo que se trata es de visualizar aspectos que luego se organizarán verbalmente en la puesta en común:

a) La formación de moldes.

b) La conservación de la forma por cambio químico.

c) La posibilidad de encontrar restos de una gran variedad de seres vivos.

d) La mayor facilidad para fosilizar de las formas duras, etc.

En los ejemplares que trabajan los grupos sería conveniente incluir insectos fosilizados en ámbar, alguna esponja, etc. Cuanta mayor variedad de seres vivos podamos incluir, mejor.

Como resultado de la puesta en común de la primera actividad y de la segunda, debería perfilarse en clase una definición aproximada de «fósil» y algunas de las condiciones de la fosilización.

Estas dos primeras actividades deberían ocupar, como mucho, 3 sesiones de trabajo; caso de no ser así, el trabajo deberá completarse en horas fuera de clase.

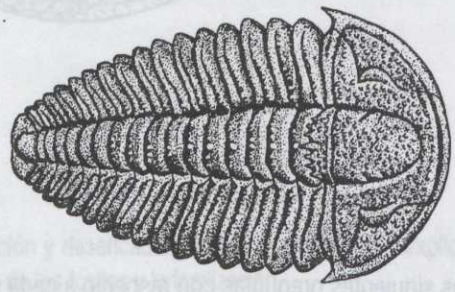
FICHA AUXILIAR 1

TRILOBITES

El resto fosilizado de un animal: El caparazón externo.

Se observan fisuras que corresponden a las partes o segmentos del caparazón.

Era un artrópodo marino. Eso significa que era invertebrado pero tenía ese caparazón externo o exoesqueleto, parecido al caparazón de las cochinillas de la humedad.



Su cuerpo estaba formado por tres lóbulos, por eso se llaman trilobites.

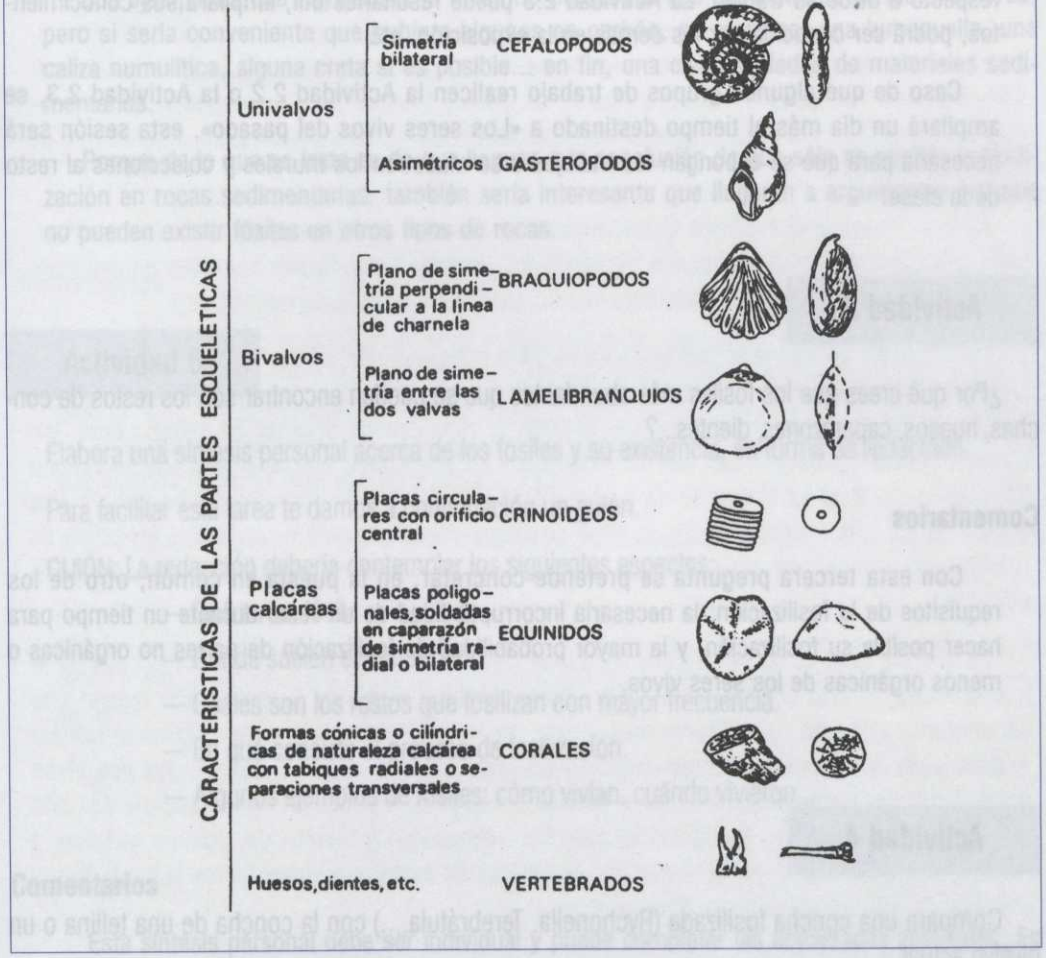
Vivían en los fondos marinos, ayudándose de sus pequeñas patas articuladas como remos. Se alimentaban de pequeños microorganismos y restos del fondo (un poco como las gambas actuales).

Fueron muy abundantes en el carbonífero, hace millones de años.

Comentarios

En algunas ocasiones, algún grupo de trabajo no resuelve bien la Actividad 2, porque tienen dificultades en la redacción o en la presentación. Podemos entonces, de manera excepcional, suministrarles un modelo de ficha ya elaborado, como el siguiente.

FICHA AUXILIAR 2



• *Actividad 2.2 (Complementaria)*

Elaborar una pequeña colección de restos fósiles, a partir de regalos, pequeñas compras, recolección de ejemplares en salidas al campo (siempre en zonas de aluviones conocidas, bajo consejo,lugares que no podamos destrozar, ni esquilmar... Sería incluso, más original elaborar una colección fotográfica).

• *Actividad 2.3 (Complementaria)*

Elaborar un mural en el que se relacionen diferentes fotografías de fósiles con la época en que vivieron y los seres vivos correspondientes; cuando esté elaborado se expondrá en la clase expli-

cando el significado del mural: por qué se han escogido esas fotografías, cómo se han representado los espacios de tiempo, etc... sin olvidar citar la bibliografía.

Comentarios

Estas dos actividades pretenden cubrir dos objetivos complementarios, por un lado ampliación de conocimientos para aquellas personas de la clase interesadas en el tema, por otra parte facilitar alguna actividad al alumnado que pretenda aumentar su calificación y también prever que algunos grupos de trabajo acabarán con bastante diferencia de tiempo con respecto a otros su trabajo. La Actividad 2.3 puede resultarles útil, ampliará sus conocimientos, podrá ser conocida por los demás en la exposición, etc.

Caso de que algunos grupos de trabajo realicen la Actividad 2.2 o la Actividad 2.3, se ampliará un día más el tiempo destinado a «Los seres vivos del pasado», esta sesión será necesaria para que se expongan los trabajos o se muestren los murales y colecciones al resto de la clase.

Actividad 3

¿Por qué crees que los fósiles más abundantes que se pueden encontrar son los restos de conchas, huesos, caparazones, dientes...?

Comentarios

Con esta tercera pregunta se pretende concretar, en la puesta en común, otro de los requisitos de la fosilización: la necesaria incorruptibilidad de un resto durante un tiempo para hacer posible su fosilización, y la mayor probabilidad de fosilización de partes no orgánicas o menos orgánicas de los seres vivos.

Actividad 4

Compara una concha fosilizada (Rychonella, Terebrátula,...) con la concha de una tellina o un bivalvo actual.

Compara el caparazón sin púas de un erizo con el resto fosilizado de un equinoideo.

Observa las diferencias y escribe, de acuerdo con tu grupo, una breve explicación ¿por qué existe esa diferencia entre los materiales que constituyen estas muestras actuales con las fosilizadas?

Comentarios

Con estas observaciones y posteriores puestas en común podremos llevar a la necesidad de un cambio en la composición química del objeto o resto fosilizado. A este cambio químico, denominado metasomatismo, no es fácil llegar conceptualmente, pero sí que podremos llegar a una aproximación que a estos niveles sea suficiente: el necesario cambio químico sustitutivo y la integración del material sedimentario.

Con esta actividad, aproximadamente se ocupará la cuarta sesión de clase.

Actividad 5

Observar los fósiles que hay en la mesa de trabajo. Si recordáis todos los fósiles que habéis observado hasta ahora y estos de encima de la mesa están incluidos en rocas. ¿Cuáles?, ¿por qué en este tipo de rocas y no en otro?

Comentarios

Los ejemplares que haya sobre la mesa no tienen por qué ser distintos de los anteriores, pero si sería conveniente que hubiera algunos en carbón, en arenisca, una lumaquella, una caliza numulítica, alguna creta si es posible... en fin, una cierta variedad de materiales sedimentarios.

Porque de lo que se trata es de que lleguen a la conclusión de que sólo es posible la fosilización en rocas sedimentarias, también sería interesante que llegarán a argumentar por qué no pueden existir fósiles en otros tipos de rocas.

Actividad 6

Elabora una síntesis personal acerca de los fósiles y su existencia, en forma de redacción.

Para facilitar esta tarea te damos a continuación un guión.

GUIÓN: La redacción debería contemplar los siguientes aspectos:

— Qué es un fósil.
— Dónde suelen encontrarse.
— Cuáles son los restos que fosilizan con mayor frecuencia.
— En qué consiste el proceso de fosilización.
— Algunos ejemplos de fósiles: cómo vivían, cuándo vivieron...

Comentarios

Esta síntesis personal debe ser individual y puede completar las actividades anteriores. En nuestra programación la Actividad 5 debe ocupar una media hora y la Actividad 6 la media hora siguiente; si no pudiera terminarse, cada alumno o alumna la finalizaría individualmente en su tiempo libre. Debe recomendarse el cuidado en la elaboración de la síntesis o resumen porque éste sería uno de los puntos que nos servirá para calificar el trabajo del alumnado. Naturalmente los alumnos y alumnas habrán de saber que una parte de su calificación vendrá dada por esta síntesis personal.

Es posible que algún grupo de trabajo encuentre dificultades en la elaboración de esta síntesis, para desarrollar este tipo de habilidad se les puede suministrar un texto sugiriéndoles que subrayen los aspectos más importantes del mismo, amplíen el texto con ejemplos, elaboren un resumen a partir del mismo, etc.

A continuación se suministra un texto de la Ed. Rueda («Geología» VV.AA., 1987) que podría utilizarse en ese sentido, aunque la elección del texto debe realizarla cada docente en función del nivel de vocabulario del grupo de trabajo al que esté destinado.

Con las Actividades 5 y 6 ocuparemos la sesión número cinco de clase.

TEXTO COMPLEMENTARIO

En algunas ocasiones las sustancias citadas, que aparecen originalmente en las conchas y partes esqueléticas del organismo, se pueden conservar sin alteración, pero lo más frecuente es que se produzcan cambios secundarios en estas sustancias durante los procesos de la fosilización.

Los factores más importantes en el proceso de fosilización son: un rápido enterramiento de los organismos muertos y la presencia de partes duras en el organismo original. El enterramiento rápido protege a los restos orgánicos de la fragmentación y de la destrucción por meteorización. Después del enterramiento, las partes blandas se descomponen, por lo que sólo se conservan las duras, aunque excepcionalmente se han conservado organismos de cuerpos blandos.

A veces el material orgánico blando puede conservarse por el procedimiento de carbonización; así aparecen fosilizadas partes de vegetales y peces. Estos fósiles aparecen en sedimentos finos que han sido depositados bajo condiciones reductoras (pizarras negras).

La aparición de conchas calcáreas inalteradas e incluso con conservación de nacarina es frecuente en sedimentos recientes. En depósitos antiguos las conchas originales pueden haber sufrido recristalización, aunque manteniéndose la composición original. En estos casos, los restos originales pueden haber sufrido fenómenos de sustitución parcial o total. Un fenómeno de sustitución total es el que se da a veces en sedimentos calcáreos fosilíferos debido a la acción de las aguas subterráneas; la sílice sustituye selectivamente a los fósiles (conchas de calcita o aragonito), pero no a la matriz calcárea que los rodea; este proceso de denomina silicificación.

La concha original de un organismo puede dejar una impresión o molde en el sedimento que la rodea; si esta concha se disuelve posteriormente, el molde puede quedar relleno con sedimentos, y si éste se conserva bien puede ser tan útil como la concha original al reflejar exactamente la estructura y ornamentación del resto original. Algunos organismos que viven sobre fondos o suelos dejan marcas o huellas de su paso o actividad en los sedimentos aún sin consolidar (blandos); así aparecen galerías («burrows») y huellas de algunos gusanos y marcas de reptiles, aves y mamíferos que proporcionan datos muy interesantes sobre la forma y medio de vida de los mismos (Paleoecología).

Es de destacar que a lo largo de las diferentes etapas van desapareciendo no sólo las partes de organismos menos resistentes, sino también partes duras debido a fragmentación durante las etapas de transporte, pérdidas durante el proceso físico-químicos de diagénesis, y finalmente destrucción por meteorización, llegando al yacimiento actual sólo unos pocos ejemplares más o menos representativos de la comunidad original.

Otro aspecto muy importante en la conservación de fósiles corresponde al medio en que el organismo vivía o al que llega después de muerto. Organismos que viven y mueren en el mar tienen mayor probabilidad de ser enterrados por sedimentos, antes de que los agentes físicos y biológicos puedan destruirlos, que los organismos que viven en la tierra (insectos, pájaros, etc.). Esto ocurre al ser los medios continentales predominantemente erosionales, mientras que los marinos son preferentemente deposicionales.

Actividad 7 (Autoevaluación)

a) Un ciervo cae herido a un río caudaloso y se ahoga. ¿Podrán llegar sus restos a fosilizar y ser encontrados al cabo del tiempo?

b) Es un hecho que existen menos restos fósiles de insectos que de moluscos. Emitir una hipótesis explicativa.

c) Supón que eres una persona aficionada a la Paleontología. ¿A qué lugares te dirigirías a buscar fósiles?

— A zonas volcánicas (Lanzarote, Hawai,...)

— A zonas graníticas como el Macizo Central Español.

— A terrenos sedimentarios.

Comentarios

Estas cuestiones deberán resolverse individualmente, con ayuda del cuaderno de clase, de los libros de la biblioteca de aula, etc. Al cabo de media hora se procederá a una puesta en común. Una vez terminada, se volverá a leer el ejercicio realizado y en otro folio se realizará un comentario: Habéis hecho un buen trabajo, ¿olvidasteis algo?, ¿los razonamientos eran adecuados?, ¿estaba bien escrito y argumentado?,...

Se trata de conseguir que el alumnado vaya adquiriendo conciencia de su propio aprendizaje, al mismo tiempo que al elaborar el trabajo individualmente se propicia una reflexión personalizada que ayuda al aprendizaje y retención en la memoria. Después de la puesta en común, el alumnado escribirá, en hoja aparte, un comentario sobre su propio trabajo, el profesor o profesora revisará estas autocorrecciones para comentar los trabajos si fuera necesario.

Con esta actividad llegamos a la sesión número seis.

Todos estos restos que hemos estado viendo corresponden a seres vivos que ya no existen. Además, no hay fósiles que atestigüen que hace millones de años los seres vivos que existían pertenecieran a las especies que ahora conocemos, por lo cual deducimos que los seres vivos de entonces no eran los de ahora ni viceversa. ¿Cómo es posible tanta diversidad en los seres vivos? ¿Cómo se han producido los cambios en los seres vivos? ¿Por qué desaparecieron unos seres vivos y en cambio hay otros ahora?

Actividad 8

Comentar este hecho biológico de la diversidad y realizar un comentario en gran grupo. Una persona irá anotando en el encerado las ideas que vayan apareciendo. Posteriormente se organizarán estas ideas en un esquema.

Comentarios

La intencionalidad de esta pregunta es que se pongan de manifiesto las ideas de los chicos y las chicas respeto a la evolución de las especies, aparezcan las ideas basadas en posturas fijistas o lamarkianas, etc. Según se desprende de la bibliografía aparecerán ideas lamarkistas, espontaneistas y catastrofistas... Algunas de las ideas aparecerán contradictorias en sí mismas, sea como fuere, en la exposición y debate aparecerán conceptos que podemos ir anotando en la pizarra y luego dejar registrados porque iremos retomándolos a lo largo de las sesiones de trabajo tales como: especies, adaptación, medioambiente, extinción, selección, supervivencia del más apto ... etc.

Intentando con la secuencia de actividades adaptar y ampliar los conceptos, teniendo en cuenta que no existe un conocimiento amplio de genética y por tanto el concepto de mutación será muy poco consistente.

Se ha trabajado con anterioridad el concepto de especie y población. En este curso se tratará únicamente de poner las bases que faciliten una mejor comprensión del tema en cursos futuros, cuando se posean los prerrequisitos de genética y química.

Actividad 9

Vamos a analizar algunos de los aspectos de las poblaciones de los seres vivos para tratar de entender cómo se producen estos fenómenos naturales: por ejemplo los individuos de una población no son idénticos, presentan una gran variedad de manera que hay diferencias entre ellos en peso, tamaño, color, etc. A esta variedad también se la suele llamar variabilidad.

• *Actividad 9.1*

Elabora una lista de aspectos que diferencian a las personas como peso, altura, color de ojos, ...

• *Actividad 9.2*

Cita unas cuantas especies animales y vegetales y cita variaciones conocidas, por ejemplo, los diferentes pelajes de los conejos o los colores de las flores de las rosas, etc.

Comentarios

Se trata de poner en evidencia que en todas las poblaciones de seres vivos existe una gran variedad, que esta variedad es mayor de lo que nos podemos imaginar sobre todo si observamos la misma especie en diferentes medios o lugares.

Al final de esta sesión deberá quedar claro que aun los individuos de la misma especie presentan gran variabilidad. Preparando el camino para introducir el concepto de selección natural a continuación.

El final de la Actividad 9 suele coincidir con la séptima sesión.

Actividad 10

Cualquier especie de planta produce muchísimas semillas, la mayor parte de los animales (ratas, conejos, escarabajos, peces distintos, etc.) producen también numerosa descendencia.

a) ¿Por qué no sobreviven todos los descendientes?

b) Cita al menos cuatro razones por las cuales esos posibles descendientes no sobreviven por igual.

c) ¿Qué factores influirán en que unos descendientes se desarrollen adecuadamente y otros no lleguen a vivir o mueran enseguida?

Comentarios

Esta actividad nos va a permitir sondear hasta qué punto se han asimilado los conocimientos correspondientes a dinámica de poblaciones que se trabajaron en temas anteriores. Es de suponer que aparecerán conceptos como mortalidad, natalidad, tasa de supervivencia, causas de mortalidad, etc. Además podremos resaltar aquellos aspectos que hagan posible la supervivencia de algunos de los descendientes, así podremos enlazar con la siguiente actividad en la que procuraremos mostrar ejemplos de adaptaciones al camuflaje, la mejor competencia en la reproducción o la consecución del alimento a fin de encaminar el trabajo hacia el concepto de selección natural.

Actividad 11

La mosca oscura de los bosques mediterráneos presenta una variedad: la mosca oscura «yellow». Tiene un cuerpo globoso, amarillo a rayas negras, con una apariencia casi igual a la de una avispa.

Esa especie de mosca vive en los bosques y matorrales mediterráneos, junto con otras especies de insectos.

Colocamos ejemplares de estas moscas junto con otros ejemplares de insectos voladores en condiciones experimentales de laboratorio, en un gran recinto donde también se han instalado aves insectívoras; al cabo de quince días se realiza un recuento de ejemplares y aparecen los siguientes resultados:

ESPECIE	N.º INDIVIDUOS INICIALMENTE	N.º INDIVIDUOS AL FINAL DE LA EXPERIENCIA
Mosca oscura variedad amarilla («yelow»)	360	300
Mosca común	800	110
Libélula azul	360	100
Mariposilla blanca	250	60
Avispa (vespa cabro)	400	340
Pájaro insectívoro	4 (2 parejas)	4
Otros pájaros no insectívoros	6 (3 parejas)	5
Mariposa Zigena	360	50
Hormigas (se instaló un hormiguero)	850 aprox.	100

a) ¿Cuáles han sido las especies más devoradas?

b) ¿Cuáles han sido las especies menos devoradas?

c) ¿Por qué crees que éstas citadas con anterioridad han sido menos devoradas?

d) En una región de bosque (matorral) mediterráneo, donde abunden las especies de pájaros insectívoros, ¿qué tipo de mosca tendrá más probabilidades de sobrevivir, la «mosca yellow» o la mosca oscura?

Comentarios

Con este ejemplo comenzaremos una serie de descripciones e interpretaciones de datos que muestren diferentes casos en los que variedades de un mismo grupo son seleccionadas en función de las condiciones del medio; con esta actividad llegaríamos a la octava sesión.

Actividad 12

La pantera negra es una variedad melánica (oscura) del leopardo (panthera. s. p.), es decir ambos leopardos son de la misma especie.

Cuál de las dos variedades predominará en:

a) la selva ecuatorial frondosa, oscura.

b) la sabana semiárida donde predomina el herbazal y los colores a lo largo del año son ocres y tostados.

Actividad 13

• *Actividad 13.1*

Muchos animales que viven en zonas donde no llega la luz, carecen de ojos o los tienen muy poco desarrollados (peces que viven en grutas oscuras, topos, peces abisales,...) al tiempo que se observan otros órganos del tacto muy desarrollados.

He aquí varias hipótesis que pueden explicar este fenómeno.

1. «Como no utilizan los ojos desde pequeños, cada vez se atrofian más y al final están completamente atrofiados, y como utilizan mucho otros órganos del tacto éstos se desarrollan bastante».

   Esta explicación corresponde a una corriente científica histórica que se basa en la adaptación de las especies a sus condiciones de vida. Su autor más importante fue **Lamarck** y por eso se denomina **Lamarckismo** a esta teoría biológica.

2. «De entre todos los individuos de los grupos de topos, aquellos que tenían los ojos más atrofiados tenían más facilidad para desplazarse y desenvolverse porque la tierra no les molestaba ni los lesionaba, además de entre estos animales algunos presentaban cambios en sus órganos del tacto, sobrevivieron y se reprodujeron más con lo que al final la población presenta caracteres de ojos atrofiados y órganos del tacto desarrollado».

   Esta explicación corresponde a una corriente científica histórica que se basa en la variabilidad de las especies y en la **selección natural**. Su autor fue **Charles Darwin** y por eso se denomina **Darwinismo**.

Anota razones a favor y en contra de estas dos hipótesis explicativas.

• *Actividad 13.2*

«Si se les sigue cortando la cola a los perros "fox terrier" pronto nacerán con la cola corta».

Esta expresión, ¿es correcta?; ¿por qué?

Comentarios

Con estas dos actividades se pretende iniciar una reflexión que enfrente las bases del Lamarckismo de las del Evolucionismo Darwinista, así podemos llegar a conocer el razonamiento que deriva en una concepción lamarckista, para poder buscar más actividades de conflicto con esa idea. Hay más ejemplos en las actividades de ampliación.

• *Actividad 13.3*

a) ¿Qué animal te parece más adaptado, una mosca o un camaleón?

b) ¿Qué planta te parece más adaptada, una hiedra o un pino?

Comentarios

Para muchas personas, el camaleón o la hiedra están más adaptados que otros animales y plantas más corrientes, ello es debido a que se interpreta la adaptación como la adquisición de una característica especial, a un factor especial del medio, y no como el resultado de conjuntos de cambios que permanecen en una población por selección natural.

También se suele creer que un carácter adaptativo, lo es debido a un sólo y especifico factor y no a un conjunto de factores del medio en que se desenvuelve una especie.

• *Actividad 13.4*

Pensar qué tipo de factores han influido en la selección natural de individuos con los siguientes caracteres:

— Con respiración por pulmones.

— Con cuerpos anchos y aplastados como los de las algas.

— A la reproducción por medio de huevos con cáscara dura.

— Con colmillos desarrollados y agudos.

— Aguijones como los de las avispas.

— Aletas de los delfines, marsopas, ballenas ...

— Sudoración (transpiración a través de la piel).

— Patas largas y delgadas.

— Piel con plumas.

— Alimentación omnívora.

— Conducta específica (una conducta para cada especie).

Actividad 14

Lee el texto siguiente:

De entre toda la variedad de individuos de una población que vive en un lugar, van siendo seleccionados por la naturaleza aquellos que presentan unas mejores condiciones para desarrollarse, reproducirse o alimentarse. Con el paso de los cientos y cientos de años, en una zona del mundo, habrá unos individuos en los que predominarán las características que les permitieron vivir mejor.

Con los años y los lugares, las especies van quedándose con unas características y no con otras, fruto de una selección natural.

a) Intenta explicar con tus propias palabras qué es selección natural.

b) ¿Qué ha producido la selección natural en el caso de la «mosca yellow» y la pantera? ¿Qué es lo que ha sido seleccionado con el paso de los miles de años y por qué?

c) Busca un par de ejemplos entre especies conocidas en que la selección natural haya actuado de forma muy clara.

Comentarios

Resulta conveniente dedicar toda una sesión al concepto de selección natural, si esta Actividad 14 es resuelta con cierta rapidez, cosa que no creemos que ocurra, sería bueno buscar nuevos ejemplos a fin de aplicar a contextos diferentes el mismo concepto. Con esta Actividad 14 acabaría la décima sesión.

Actividad 15

Es frecuente, cuando hablamos del origen y cambio de las especies animales y vegetales que surja en la conversación la palabra **adaptación**.

¿Qué creéis que significa esa palabra? ¿Qué es adaptación biológica?

Comentarios

A partir de esta pregunta se pueden explorar las ideas acerca de este concepto.La palabra adaptación tiene una fuerza polisémica que hace difícil una buena conceptualización.

En general, se piensa que los organismos se adaptan al medio, pero no a través de mutaciones que aumentan la variabilidad y posterior selección natural, sino que la adaptación es inmediata. También aparece la idea de que una adaptación puede desaparecer cuando cesa el motivo que la provoca. Otra idea es que la adaptación de los seres vivos es direccional: se adaptan en función de lo que les es necesario.

A estas edades va a ser difícil reorganizar estas ideas, tanto más cuanto la mayor parte de los adultos las comparten, incluyendo parte del profesorado; podemos intentar una reestructuración de ideas a partir de distintos ejemplos y una síntesis general; también podremos utilizar la comparación del concepto de adaptación adquirido con el que inicialmente se expuso en clase.

Actividad 16

Vamos a citar ahora algunos ejemplos de adaptaciones:

— La membrana interdigital de los patos.

— El plumaje del pavo real.

— Las escamas plateadas de los peces de las aguas superficiales.

— El estómago largo, dividido en partes, de los herbívoros rumiantes.

— Los miles de huevos que ponen los mosquitos.

Intenta explicar por qué estas adaptaciones han sido favorecidas por la selección natural.

Actividad 17

Aquí hay tres posibles explicaciones sobre lo que es la adaptación. Elige la que te parezca más adecuada y rebate con argumentos las demás:

- *En los grupos de individuos de una misma especie hay individuos que van sufriendo modificaciones que los hacen más aptos para desarrollarse en un determinado medio ambiente, por eso son los que sobreviven, a esos cambios se les llama adaptaciones.*
- *En los grupos de individuos de una misma especie se producen cambios genéticos que hacen que existan muchas variaciones o variabilidad en esa especie, los individuos que poseen cambios genéticos que les favorecen se reproducen con mayor facilidad y poco a poco toda la población, al cabo de los años presenta esos cambios, a los que llamamos adaptaciones.*
- *Adaptaciones son los cambios sufridos por los seres vivos porque lo necesitan para estar en un medio más adecuadamente, cuando esos seres vivos se adaptan, lo hacen para conseguir más alimento, o para camuflarse, o para defenderse.*

Comentarios

Debería perfilarse en esta actividad que la variabilidad aparece como cambios genéticos aleatorios, formando un abanico de posibilidades y variabilidad entre los individuos de una población, sobre el que actúa la selección natural, viéndose facilitada la reproducción de los que presentan cambios con una mayor adaptación del medio en que se desarrolla esa población. Es posible que la Actividad 17 ocupe una sesión entera, en ese caso llegaríamos a la sesión número doce.

Actividad 18

Cuando estamos hablando de adaptación hemos mencionado la posibilidad de que se produzcan unos cambios genéticos al azar (es decir, no dirigidos). Esos cambios genéticos no pueden ser muy grandes porque si fueran muy grandes los individuos perecerían antes de desarrollarse. Muchos de esos cambios en la genética de los individuos no son favorables, otros si lo son y otros muchos son indiferentes, es decir, no son favorables ni desfavorables.

Cada uno de estos cambios genéticos se llama **mutación**. La existencia de las mutaciones fue propuesta teóricamente mucho después que Darwin propusiera su teoría de la Evolución de las Especies.

a) Lee el texto anterior e intentar explicar con palabras propias lo que es una mutación.

b) Busca ejemplos de mutaciones en diversas revistas, textos, libros, documentales, etc.

Cuestiones y sugerencias de ampliación

1. En unas canteras de margas cercanas (como las de Utrillas —Teruel— o Buñol —Valencia—), se encuentran en ocasiones fósiles que pertenecen a animales marinos, por ejemplo, de ostras. ¿Cómo han llegado estos restos a la montaña?

2. Hemos visto algunos de los mecanismos que intervienen en el proceso de cambio de los seres vivos, ¿está la especie humana sujeta a ellos?

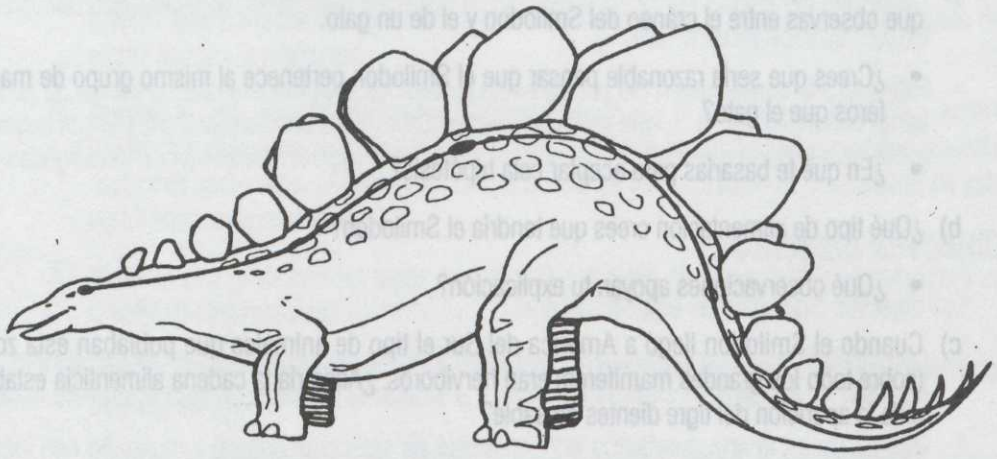
   ¿Qué tipo de cambios debe haber sufrido la especie humana a partir de las poblaciones originarias? ¿Cuáles son los cambios más importantes? ¿Por qué?

3. La especie humana realiza una selección en función de sus necesidades económicas y de producción.

   Busca ejemplares de col, coliflor, coles de Bruselas, brécol, col lombarda,... sabiendo que son variaciones de la col silvestre llamada Brassica olerácea, di qué parte de la planta silvestre ha sido seleccionada artificialmente en cada caso.

4. Comenta qué tipo de adaptación ha favorecido la selección natural en los siguientes casos:
   - Las lagartijas en invierno buscan lugares soleados para exponer sus cuerpos a los rayos del sol.
   - Las plantas cactus no tienen estomas en su organismo y sus hojas se han atrofiado en espinas.
   - El jerbo o rata canguro del desierto pasa el día en madrigueras subterráneas y sólo sale de noche.
   - Algunos peces emigran de la costa a alta mar, en verano.
   - Las larvas de los mosquitos poseen tubos respiratorios con los que alcanzan la superficie del agua.
   - La gruesa capa de grasa que rodea el cuerpo de los pingüinos.

5. El Estegosaurio era un enorme dinosaurio herbívoro del período Jurásico, que poseía una serie de placas óseas situadas de manera alternante a derecha e izquierda de la línea dorsal. El significado adaptativo que dichas placas podían tener es el siguiente:



Stegosaurus

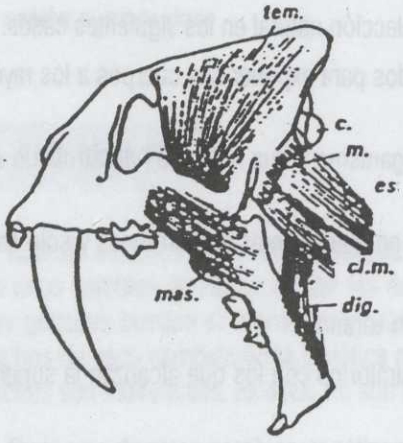
a) Construir un mecanismo de regulación del calor, pues eran de carácter poroso lo que significaba abundante riego sanguíneo, y las placas de mayor tamaño están en la zona más voluminosa del cuerpo. Esta regulación del calor capacitaba a este animal a recoger alimento en las horas más calurosas del día, cosa que no podrían hacer quienes no las poseyeran.

b) Soluciona un problema de defensa, pues debido a su tamaño atemorizarían a posibles depredadores.

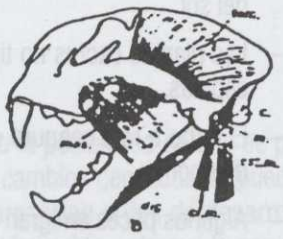
c) Servir de reconocimiento sexual, importante para el cortejo en el tiempo de celo:

(Vemos cómo un aspecto del animal, las placas dorsales óseas, cumplen varias misiones).

El Smilodon es un tipo de «tigre de dientes de sable» procedente de Eurasia que invadió América del Norte en la segunda mitad del terciario. A principios del cuaternario invade América del Sur atravesando el Istmo de Panamá.



Cráneo de smilodón



Cráneo de gato

a) Sobre el esquema del cráneo del Smilodon introduce con tinta de otro color las diferencias que observas entre el cráneo del Smilodon y el de un gato.

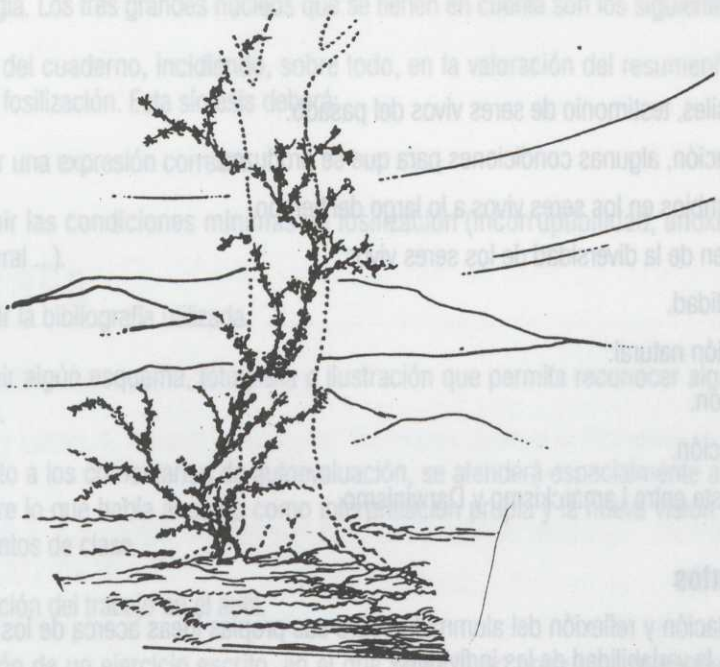
- ¿Crees que sería razonable pensar que el Smilodon pertenece al mismo grupo de mamíferos que el gato?
- ¿En qué te basarías para aceptar esta hipótesis?

b) ¿Qué tipo de alimentación crees que tendría el Smilodon?

- ¿Qué observaciones apoyan tu explicación?

c) Cuando el Smilodon llegó a América del Sur el tipo de animales que poblaban esta zona (sobre todo los grandes mamíferos) eran herbívoros. ¿Alteraría la cadena alimenticia establecida la aparición del tigre dientes de sable?

6. Observa en la figura la disposición del tallo de la Esparraguera.



¿Cómo está situado? ¿A qué puede ser debido? ¿Qué es lo que ha seleccionado en este caso la selección natural?

Contenidos y objetivos didácticos

Contenidos

Conceptos

- Los fósiles, testimonio de seres vivos del pasado.
- Fosilización, algunas condiciones para que se produzca.
- Los cambios en los seres vivos a lo largo del tiempo.
- El origen de la diversidad de los seres vivos.
- Variabilidad.
- Selección natural.
- Mutación.
- Adaptación.
- Contraste entre Lamarckismo y Darwinismo.

Procedimientos

- Explicitación y reflexión del alumnado sobre sus propias ideas acerca de los fósiles, la fosilización, la variabilidad de los individuos.
- Introducción de los modelos de la Ciencia escolar:
  - Análisis de datos sobre supervivencia.
  - Discusión sobre experiencias de campo y su validez.
  - Interpretación de hechos biológicos y emisión de hipótesis.
  - Interpretación de hipótesis científicas acerca de la adaptación.
  - Síntesis explicativas de conocimientos acerca del concepto de fósil.

Actitudes

- Actitud crítica y reflexiva ante pruebas, experiencias o teorías científicas encaminadas a entender que el proceso seguido para llegar a conocimientos científicos está siempre sometido a contraste y revalidación y por tanto sufre cambios.
- Desarrollo del interés por la conservación de especies animales y vegetales que derivan de tantísimos años de evolución.
- Estímulo a la conservación del patrimonio paleontológico de nuestro país, la estima de piezas como minerales, rocas, ... que contienen restos fósiles para concienciar contra el coleccionismo indiscriminado que esquilma depósitos, canteras o, incluso, zonas aún no investigadas.

Objetivos didácticos

Los objetivos didácticos de esta Unidad son:

1. Que el alumno se capaz de explicar lo que es la adaptación con el uso de algún ejemplo; si es capaz de extrapolar a situaciones nuevas, o ampliar el concepto, la valoración será mayor.
2. Que utilice en la argumentación los conceptos de selección natural y mutación con cierta coherencia, aunque las respuestas a las tres últimas preguntas del ejercicio no sean las «correctas».

Esquema de evaluación

El esquema de evaluación de alumnos que se propone es semejante al que se resumió en la Unidad de Energía. Los tres grandes núcleos que se tienen en cuenta son los siguientes:

1. Análisis del cuaderno, incidiendo, sobre todo, en la valoración del resumen/síntesis sobre fósiles y fosilización. Esta síntesis deberá:

   a) Tener una expresión correcta.

   b) Incluir las condiciones mínimas de fosilización (incorruptibilidad, anoxia, sustitución mineral ...).

   c) Incluir la bibliografía utilizada.

   d) Incluir algún esquema, fotografía o ilustración que permita reconocer algún resto fosilizado.

   En cuanto a los comentarios de autoevaluación, se atenderá especialmente a la discriminación entre lo que había anotado como interpretación propia y la nueva visión a partir de los documentos de clase.

2. Observación del trabajo en el aula.

3. Valoración de un ejercicio escrito, en el que se incluyen preguntas que reflejen destrezas, habilidades y conocimientos trabajados en esta Unidad didáctica, *verbigracia,*

   ☑ Cita algunos ejemplos de adaptación de las especies a:

   — climas secos
   — natación
   — mortalidad muy elevada
   — alimentación carnívora
   — reproducción
   — defensa del individuo frente a un predador.

   Razona los ejemplos.

   ☑ ¿Podría ser interesante para el estudio de los seres vivos el hallazgo de fósiles de organismos que no hubieran sufrido ninguna modificación en el transcurso de millones de años? Razona la respuesta.

   ☑ Cuando el tigre «dientes de sable» (Smilodon) llegó por el estrecho de Panamá a América del Sur, el tipo de animales que poblaban esta zona (sobre todo los grandes mamíferos), eran herbívoros. ¿Alteraría la cadena trófica de los ecosistemas la aparición de este tigre? Razona tu respuesta.

   ☑ Al nacer una oveja con las patas cortas, en las granjas se seleccionó y se consiguió un rebaño de una nueva raza.

   Pero, ¿cómo se explica que en un momento determinado nazcan seres vivos diferentes de sus padres?

   Tal vez convenga recordar, por último, que los criterios y el tipo de actividades de evaluación han de ser conocidos previamente por los alumnos y las alumnas.

Bibliografía

Bibliografía sobre aspectos didácticos

ALBADALEJO, C. y LUCAS, A. «Pupils' mearing for 'mutation». *Journal of Biological Education*. 22(3). 215, 1988.

ANGSEESING, J. P. A. 1«Problem-solving exercices and Evolution teaching». *Journal of Biological Educatión*. 12(1). 16-20, 978.

BRISTISH MUSEUM, *L'origen de les espècies*. Diputació de Barcelona. Servei de Medi Ambient, Barcelona, 1982.

BRUMBY, M. «Problems in learning the concept of natural selection». *Journal of Biological Education,* 1979.

BRUMBY, M. «The use of problem-solving in meanuigful Learning in biology». *Research in Science Education*. II. 103-110, 1981.

CABALLER, M. J. GIMÉNEZ, I. y MADRID, A. «Ecosistemas y cambios». *Ciencias de la Naturaleza: Biología y Geología 4.º Curso de E.S.O.* Generalitat Valenciana (Conselleria de Cultura. Educación y Ciencia: Valencia),1992.

CABELLO, M. y LOPE, S. *Evolución.* BRDA. Alhambra, Madrid, 1986.

GAVIDIA, V. «Medio-ambiente y adaptaciones». *Breviarios de Educación*. MEC, Madrid, 1983.

GEN, A. *¿Cómo cambian los seres vivos?* Programa de Actividades con comentarios para los profesores. No editada. Lérida, 1990.

GEN, A. «Cambio conceptual y metodológico en la Enseñanza y el aprendizaje de la Evolución de los seres vivos. Un ejemplo concreto». *Enseñanza de las Ciencias.* Vol. 9. n.º 1. p. 24, 1991.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, Mª P. «Cambiando las ideas sobre el cambio biológico». *Enseñanza de las Ciencias.* 9 (3). 248, 1992.

LUCAS, A. M. «The teaching of 'adaptation». *Journal of Biological Education*. 5. 86, 1971.

PEDRINACI, E. «Catastrofismo *versus* Actualismo». *Enseñanza de las Ciencias*. 10 (2). 216, 1992.

RENNER, J. W. BRUMBY, M. and SHEPHERD, D. L. «Why are there no dinosaurus in Oklahoma». *The Science Teacher*. 48 (9). 22-24, 1981.

Bibliografía de consulta

ANGUITA, F. *Origen e Historia de la Tierra*. Rueda, Madrid, 1988.

AYALA, F. *Origen y evolución del hombre*. Alianza Universidad, Madrid, 1983.

BLANC, M. «La teoría de la evolución, hoy». *Mundo Científico*. n.º 12, 1982.

GAYLORD, G. *Fósiles e historia de la vida*. Prensa Científica. Labor, Barcelona, 1985.

GOULD, S. L. *El pulgar del panda*. Herman Blume Ediciones, Madrid, 1983.

LÓPEZ, N. *et al*. *Guía de Campo de los fósiles de España*. Pirámide, Madrid, 1987.

MELÉNDEZ, B. *Paleontología*. Paraninfo, Madrid, 1979.

RIDLEY, M. *La evolución y sus problemas*. Pirámide, Madrid, 1987.

Bibliografía para la clase

ALCAZAR, J. y BAYO, N. *El hombre fósil*. Penthalon, Fuenlabrada. Madrid, 1985.

ANGUITA, F. *Los últimos dinosaurios*. Col. de PAR en PAR. S.M., Madrid, 1989.

BEURLEN, K. y LICHTER. G. «Fósiles». *Guías de Naturaleza*. Blume, Barcelona, 1990.

BIBLIOTECA VISUAL ALTHEA. *Los fósiles*. Althea, Madrid, 1990.

COLECCIÓN VENTANA AL MUNDO. Plaza Joven, 1991

Títulos:

Cómo vivían los dinosaurios.

La vida a través del tiempo.

El mundo Prehistórico.

DROSCHER, V. B. *Perro que ladra también muerde*. Planeta, Barcelona, 1981.

DURRELL, G. *Encuentros con animales*. Alianza, Madrid, 1981.

HUXLEY, J. *El maravilloso mundo de la evolución*. Aguilar, Madrid, 1970.

JOHANSON, D. y EDEY. M. «El primer antepasado del hombre». Planeta, Barcelona, 1982.

P. L. E. S. A. (Varias ediciones). *Mamíferos prehistóricos*. S. M.: Madrid.

Ibid. Rocas y fósiles.

Ibid. El hombre primitivo.

Ibid. Dinosaurios.

RAMOS, M. *Los fósiles huellas de la Evolución*. Penthalon, Fuenlabrada, 1987.

ROWLAND–ENTWISTLE, T. «La vida Prehistórica». *Biblioteca Básica Altea*. Altea, Madrid, 1990.

Una posible programación para el cuarto curso de la E. S. O.

Alvarez, F. *Origen y evolución del hombre*. Alianza Universidad, Madrid, 1983.

Bonet, M. «La fosilización, hoy». *Mundo Científico*, n.º 12, 1982.

Carcavilla, S. *Fósiles e historia de la vida*. Prensa Científica. Labor, Barcelona, 1985.

Gould, S. J. *El pulgar del panda*. Herman Blume Ediciones, Madrid, 1983.

López, N. (dir.). *Guía de Campo de los fósiles de España*. Pirámide, Madrid, 1987.

Meléndez, B. *Paleontología*. Paraninfo, Madrid, 1979.

Riedev, M. *La evolución y sus problemas*. Pirámide, Madrid, 1987.

Bibliografía para la clase

Alcolea, J. y Bonet, N. *El hombre fósil*. Penthalon, Fuenlabrada. Madrid. 1985.

Arsuaga, F. *Los últimos dinosaurios*. Col. de PAR en PAR. S.M., Madrid, 1989.

Beurlen, K. y Lichter, G. «El fósiles». *Guías de Naturaleza*. Blume, Barcelona, 1990.

Biblioteca Visual Altea. *Los Reptiles*. Altea, Madrid, 1990.

Colección Ventana al Mundo. Plaza (varios). 1991

Títulos:

Cómo vivían los dinosaurios.

La vida a través del tiempo.

El mundo Prehistórico.

Crusafont, V. B. *Perro que ladra también muerde*. Planeta. Barcelona, 1981.

Dunbar, C. O. *Encuentros con animales*. Alianza, Madrid, 1981.

Howley, J. *El maravilloso mundo de la evolución*. Aguilar, Madrid, 1970.

Leakey, R. «Los orígenes del hombre». Planeta, Barcelona, 1982.

P. E. E. S. A. (Varias ediciones). *Mamíferos prehistóricos*. S. M., Madrid.

Ibid. Rocas y fósiles.

Ibid. El hombre primitivo.

Ibid. Dinosaurios.

Ramos, M. *Los fósiles huellas de la Evolución*. Penthalon, Fuenlabrada, 1987.

Rodríguez Estrella, T. «La vida Prehistórica». *Biblioteca Básica Altea*. Altea, Madrid, 1990.

Una posible programación para el cuarto curso de la E. S. O.

Introducción

El área de Ciencias de la Naturaleza dispone, en el cuarto curso de la E.S.O., de un total de noventa horas. Siendo realistas, a la luz de lo que ha sucedido en los centros que han adelantado la reforma, parece que lo más sensato es repartir cuarenta y cinco horas, esto es, quince semanas o un cuatrimestre, para cada una de las materias que componen el área: física y química, por un lado, y ciencias naturales, por otro. Esto no significa, sin embargo, que no consideremos necesario que la programación se realice de forma conjunta por parte de los profesores de ambas asignaturas. En nuestra opinión, si se quiere que los alumnos y las alumnas adquieran una visión más realista de lo que es la ciencia actual, conviene que se haga una presentación cuando menos coordinada de las distintas disciplinas. De este modo, cabe la posibilidad de establecer, en ciertas ocasiones, lazos unificadores y de acometer problemas frontera entre ramas que habitualmente se estudian como si fueran compartimentos estancos.

Lo que acabamos de decir exige una coordinación en la programación de los contenidos (conceptos, procedimientos y actitudes) y de las actividades que se seleccionan. Un pequeño intento en esta dirección se encuentra en la Unidad didáctica sobre la Energía, en la que se han introducido algunas actividades que muestran la fotosíntesis como una aplicación del principio de conservación de la energía.

Por otra parte, el recurso al contexto en el que la ciencia se desarrolla, por ejemplo, las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad, puede llegar a ser otro punto de unión entre las cuatro disciplinas.

En definitiva, consideramos oportuno y pertinente que el departamento de ciencias de la naturaleza programe concertadamente la nueva asignatura, aun siendo conscientes de la dificultad que, dada nuestra escasa tradición de trabajo en equipo, este proceso puede entrañar. De todos modos, si dicha tarea se entiende como un verdadero proceso, como un aprendizaje, y no en tanto que algo que haya que culminar a corto plazo, confiamos en que, poco a poco, los resultados alcanzados serán satisfactorios y motivadores para el colectivo docente. No en vano, como señala Erickson (1989), para que la enseñanza primaria y secundaria alcance su mayoría de edad como profesión —para que el papel del docente no continúe siendo institucionalmente infantilizado—, los profesores deben asumir la responsabilidad adulta de investigar su propia práctica en forma sistemática y crítica mediante los métodos apropiados.

Otro inconveniente que nos interesa destacar es el elevado número de contenidos que, a pesar de la supuesta egebeización de las enseñanzas medias, hay que desarrollar a lo largo del curso. Si se pretende que los alumnos construyan los conocimientos mediante la interacción entre iguales y con el profesor, es evidente que la selección de los mismos debería haber sido aún más restrictiva. De hecho, algunos análisis de los bloques de contenidos del Currículo han puesto de manifiesto que, por ejemplo, en la Biología y la Geología de 4º hay que introducir cuarenta y cinco conceptos nuevos respecto de 3er curso. Si a esto añadimos los correspondientes procedimientos y actitudes

es fácil darse cuenta de que el ritmo con el que habrá que trabajar en clase excede a lo que se considera recomendable desde los principios didácticos recogidos en el primer capítulo.

Queremos recalcar que la programación que se propone no es más que una simple hipótesis de trabajo. Tanto ésta como otras alternativas igualmente razonables —y en este aspecto sí que se echa en falta un mayor número de investigaciones— habrán de ser puestas a prueba en la práctica. El análisis riguroso de su funcionamiento servirá para que, progresivamente, vayamos contando con instrumentos más adaptados a la compleja realidad de las aulas y de los centros educativos.

Cada esquema de las unidades incluye un guión de los conceptos y de los procedimientos que hay que desarrollar, así como unos breves comentarios y sugerencias sobre la forma en la que se pueden abordar en clase.

Las actitudes se incluyen a continuación para evitar repeticiones innecesarias. Los tres tipos de contenidos se han expresado de un modo más general que en la Unidad sobre la energía, puesto que, al menos a nuestro juicio, un mayor grado de precisión requeriría la formulación completa de los distintos programas de actividades.

Actitudes

- Interés y curiosidad por los procesos de investigación realizados, así como por sus resultados.
- Preocupación por la realización correcta de las experiencias, de la recogida de datos y de la confección de los informes.
- Cuidado y respeto por el material e instrumentos utilizados.
- Cooperación y responsabilidad ante el trabajo en equipo.
- Valoración positiva del papel de la ciencia en el mundo actual.
- Reconocimiento de la creatividad presente en el trabajo científico a lo largo de la historia.
- Estimulación del espíritu crítico y analítico frente a experiencias científicas.
- Toma de conciencia de que la construcción de los conocimientos científicos es un proceso histórico sometido a contrastación y falsación.
- Concienciación acerca de los problemas sociales que desencadena la acumulación de basuras y residuos no controlados.
- Sensibilización hacia la participación ciudadana en las decisiones políticas relacionadas con los problemas medioambientales.

Distribución de los contenidos

Física y Química

Hechas estas salvedades, veamos cuál ha sido la distribución de los contenidos que se ha efectuado. Empezaremos por la Física y Química. Los tres bloques que corresponden a esta materia se han agrupado en cuatro unidades didácticas:

- **Iniciación al estudio del movimiento.**
- **Dinámica; algunas fuerzas de interés.**
- **Gravitación.**
- **Energía: pasado, presente y futuro.**

Los períodos de tiempo que nos parece sensato dedicar a cada una de ellas son, respectivamente, de tres, cuatro, tres y cinco semanas, aunque puede ser muy interesante dedicar los tres últimos días del cuatrimestre a la revisión y síntesis de todo lo que se haya estudiado hasta ese momento.

Seguidamente, se recogen los esquemas de las unidades que no se han desarrollado anteriormente en este documento.

Iniciación al estudio del movimiento

Contenidos

1. Carácter relativo del movimiento
   - — Sistema de referencia
   - — Trayectoria
2. Magnitudes necesarias para la descripción del movimiento
   - — Posición sobre la trayectoria
   - — Desplazamiento sobre la trayectoria
   - — Distancia recorrida sobre la trayectoria
   - — Rapidez de un movimiento: velocidad media
3. Estudio de cualquier movimiento conocida la trayectoria
   - — Construir la gráfica posición/tiempo a partir de los valores de las sucesivas posiciones del móvil

— Utilizar correctamente los instrumentos para la medida de posiciones, desplazamientos y tiempos

— Dibujar la gráfica posición/tiempo a partir de la descripción del movimiento

— Analizar verbalmente gráficas posición/tiempo. Relacionar la inclinación de la curva o de la recta representadas con la rapidez del movimiento

— Calcular el desplazamiento, la distancia recorrida o la velocidad media, en determinados intervalos de tiempo, a partir de la gráfica posición/tiempo o de tablas de valores tiempo/posición

— Aplicar las actividades anteriores a casos cotidianos: movimiento de un ciclista en una «contrarreloj» o de un atleta en una carrera de velocidad, movimiento de un automóvil ante una señal de semáforo, movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, caída libre de los cuerpos, ...

4. Movimiento rectilíneo uniforme

— Realización de una pequeña investigación (emisión de hipótesis, diseño y realización del experimento, establecimiento de conclusiones y comunicación de los resultados) acerca del movimiento rectilíneo de una bola sobre una superficie horizontal lisa

— Ecuaciones y gráficas de la posición, del desplazamiento y de la velocidad

— Aplicar las ecuaciones anteriores a la resolución de ejercicios

5. Una nueva magnitud: la aceleración

— A partir de las medidas realizadas con el velocímetro de un vehículo

— A partir de una gráfica velocidad/tiempo

Comentarios

El estudio del movimiento comienza con los criterios que nos permiten saber cuándo un cuerpo está en reposo o en movimiento, lo que nos lleva a fijar un **sistema de referencia** y a reconocer el carácter relativo del movimiento, carácter del que también participa la trayectoria.

El paso siguiente es definir las magnitudes necesarias para la descripción del movimiento. Para un estudio cualitativo de cualquier movimiento —rectilíneo o curvilíneo— lo más conveniente es establecer magnitudes medidas **sobre la trayectoria**. Así, conocida la trayectoria, podemos hacer abstracción de la misma y simplificar el estudio de los movimientos, pues todos se estudiarían de la misma manera.

Conviene distinguir entre **desplazamiento** sobre la trayectoria (diferencia entre las posiciones final e inicial) y **distancia real recorrida** sobre la trayectoria. La **velocidad media** se introduce como el cociente entre el desplazamiento y el tiempo transcurrido en el mismo y la **rapidez media** como el cociente entre la distancia real recorrida y el tiempo transcurrido en ella. Se pueden ilustrar estos conceptos fijando una trayectoria en el aula, en la que se han puesto marcas a distancias regulares, y haciendo que la recorra, con distintas rapideces, un alumno o una alumna. El resto de la clase puede, por ejemplo, tomar nota de los instantes en que el «móvil» pasa por las diferentes marcas.

Para el análisis de cualquier movimiento conocida la trayectoria proponemos que se trabaje, en lugar de con unas desconocidas ecuaciones, con gráficas posición/tiempo o con tablas de valores de la posición en distintos instantes, del tipo de las que se pueden obtener con el experimento del «alumno-móvil». En el índice se muestran algunas de las posibilidades de este tipo de estudio.

El estudio del **movimiento rectilíneo uniforme** se puede iniciar con un experimento de un movimiento real que se aproxime lo más posible a las condiciones de aquél. Se trata de una bola que se desplaza, después de haber sido dejada en libertad cada vez desde el mismo punto de un plano inclinado, sobre una superficie horizontal lisa; se hace despreciable el efecto del rozamiento trabajando con desplazamientos pequeños de la bola. Un reloj electrónico con dos puertas nos permite obtener una tabla de valores tiempo/posición. Existen dos formas de interpretar los resultados obtenidos: por un lado, representar el desplazamiento frente al tiempo y deducir si estas magnitudes son directamente proporcionales; por otro lado, constatar si la velocidad media, para cualquier intervalo de tiempo, tiene siempre el mismo valor. De ambas se derivan sin dificultad las ecuaciones del movimiento rectilíneo uniforme. Como ejercicios de aplicación son interesantes los referidos a **encuentros de móviles** que se desplazan por la misma trayectoria, sobre todo si, además de analíticamente, se busca la respuesta gráficamente.

Hasta este punto del desarrollo de la Unidad, sólo se ha trabajado con velocidades medias y se hace necesario dar el salto, aunque sea con aproximaciones, al concepto más difícil de **velocidad instantánea**. Se puede hacer constar que ambas coinciden cuando la velocidad es constante, como ocurre en el movimiento rectilíneo uniforme. Una manera de trabajar con velocidades instantáneas es recurrir a las indicaciones del velocímetro de un vehículo y, a partir de ellas, confeccionar una tabla de valores tiempo/velocidad. Mostrando varias tablas de este tipo, con velocidades constantes y variables, es posible iniciar el estudio de la **aceleración**.

DINÁMICA; ALGUNAS FUERZAS DE INTERÉS

Contenidos

1. La fuerza como causa de la modificación del movimiento
   - Crítica del concepto aristotélico de fuerza
   - 1ª ley de Newton
2. La fuerza como resultado de las interacciones
   - 3ª ley de Newton
3. Definición cuantitativa de fuerza
   - 2ª ley de Newton
4. Aplicación de las leyes de Newton a casos sencillos
   - Cuando el cuerpo se mueve con velocidad constante
   - Cuando el rozamiento es despreciable
   - Cuando el rozamiento es significativo
   - ¿Existen fuerzas en el movimiento circular uniforme?
5. Fuerzas en fluidos
   - Concepto de presión
   - Comportamiento de los líquidos al ejercer fuerzas o presiones sobre ellos

— La transmisión de presiones a través de líquidos: aplicaciones
— Presión en el interior de líquidos en equilibrio
— Utilización de modelos mecánicos para la comprensión del comportamiento de los líquidos en las situaciones anteriores

6. Equilibrio de sólidos en fluidos
— Fuerzas ejercidas por los fluidos sobre los sólidos
— ¿Cómo influye la densidad en el empuje que experimenta un cuerpo sumergido?
— Flotación: barcos, rompehielos, «icebergs» y densímetros

Comentarios

Después de haber caracterizado, en el primer ciclo, las fuerzas por sus efectos, es el momento de darles un tratamiento más formal para llegar a establecer los principios de la dinámica o **leyes de Newton**.

Una de las ideas más arraigadas en los estudiantes y las estudiantes es que la fuerza es la causa del movimiento, esto es, sin fuerza no hay movimiento, propuesta característica de la Física pregalileana. Se comienza, por ello, la Unidad con una crítica al concepto aristotélico de fuerza mediante la lectura —y consiguiente debate— de un fragmento de la obra «Dos nuevas ciencias», de Galileo. El objetivo es llegar a establecer que la **fuerza es la causa de la modificación del movimiento**. A continuación, se enuncia la 1ª ley de Newton.

Antes de pasar a la definición cuantitativa de fuerza, pensamos que es conveniente profundizar en el estudio cualitativo iniciado en el apartado anterior y, en consecuencia, presentar las fuerzas como **resultado de las interacciones**, es decir, que las fuerzas nunca se dan solas sino que se presentan por parejas. En definitiva, proponemos trabajar antes con la 3ª ley de Newton que con la 2ª.

Para la **definición cuantitativa de fuerza** se puede intentar deducir experimentalmente la 2ª ley de Newton, aunque el montaje suele resultar complicado o de difícil explicación para los alumnos y las alumnas. Proponemos que el profesor o la profesora realice una experiencia de cátedra (por ejemplo, movimiento de un carrito sobre un plano horizontal liso, arrastrado por un cuerpo que cuelga verticalmente) o que trabaje con datos simulados en un programa de ordenador (por ejemplo, mediante el módulo DINAMICA I, de IDEALOGIC/SM). En cualquier caso, el alumnado puede interpretar la correspondiente gráfica fuerza neta/aceleración y sacar conclusiones. Es interesante discutir el significado físico de la constante de proporcionalidad de la gráfica anterior.

Como aplicación de la 2ª ley de Newton se pueden resolver ejercicios de cuerpos que se mueven sometidos a fuerzas de la misma dirección (y ambos sentidos), una de las cuales puede ser la fuerza de rozamiento, globalmente considerada. La 1ª ley de Newton nos permite justificar que en un movimiento circular, uniforme o no, debe existir una fuerza neta.

A continuación, se presenta el concepto de presión como **fuerza por unidad de superficie**. El comportamiento de un líquido cuando se ejerce una fuerza sobre él se puede comprender mejor comparándolo con el comportamiento de un sólido en las mismas circunstancias o recurriendo a modelos de «canicas». Respecto al **principio de Pascal**, lo más interesante son sus aplicaciones: la prensa hidráulica y el freno de un vehículo. Y algo parecido respecto a la **presión hidrostática**, de la que no habría que dar la fórmula de cálculo, sino trabajar con los factores de que depende (densidad y profundidad) y dedicarse a las aplicaciones: vasos comunicantes y suministro de agua en una ciudad.

Respecto al equilibrio de sólidos en fluidos, no se debería llegar a enunciar el **principio de Arquímedes** en su versión «tradicional» (tan repetida como poco comprendida). La existencia del empuje, y la influencia de la densidad del fluido, se pueden deducir experimentalmente como dife-

rencia de medidas de pesos y pesos aparentes. Lo más interesante es explicar los fenómenos de flotación en casos reales.

GRAVITACIÓN

Contenidos

1. La fuerza de la gravedad
   - La caída libre de los cuerpos
   - El peso de los cuerpos
   - El peso no es la masa
2. Sistemas geocéntrico y heliocéntrico
3. Ley de la Gravitación Universal
4. Conocimiento actual del Universo

Comentarios

Antes de plantearse **por qué** caen los cuerpos es preciso discutir con detalle **cómo** caen.

Es una creencia corriente que los cuerpos más pesados (con más masa) llegan antes al suelo que los más ligeros si se dejan en libertad a la vez desde la misma altura. Esta idea también estaba presente en la Física aristotélica, para la cual el **peso** era la fuerza que gobernaba la velocidad de caída. Experimentos muy sencillos (dejar caer simultáneamente dos cuerpos con masas muy diferentes en condiciones de rozamiento con el aire despreciable) o el debate de algún fragmento de «Dos nuevas ciencias» de Galileo, permiten establecer que todos los cuerpos caen con igual rapidez, independientemente de cuál sea su masa, si despreciamos el pequeño efecto perturbador del rozamiento con el aire. Después, se comenta el valor de la **aceleración de la gravedad** y se deduce, como aplicación de la 2ª ley de Newton, la expresión matemática que permite calcular el peso de un cuerpo. Conviene insistir, en este momento, en las diferencias existentes entre peso y masa, conceptos peligrosamente entremezclados y confundidos en el lenguaje ordinario.

A continuación, mediante la lectura de textos de historia de la ciencia, se comentan los sistemas planetarios **geocéntrico** y **heliocéntrico**. Después, se analiza la expresión propuesta por Newton para describir la **interacción gravitatoria**. Se puede utilizar esta fórmula en el caso particular de las proximidades de la superficie terrestre para llegar, por otro camino, a la expresión del peso.

Por último, conviene comentar, a través de noticias de diarios y revistas, los últimos avances en Astronomía o los conocimientos más recientes sobre el Universo y su origen.

Biología y Geología

En cuanto a los contenidos de **Biología** y **Geología**, éstos se han agrupado en tres unidades didácticas:

- **Ecosistemas: interacciones y cambios.**
- **La Tierra cambia.**
- **Los seres vivos cambian.**

A continuación, se muestran los esquemas de las unidades que no se han desarrollado anteriormente en este documento.

ECOSISTEMAS: INTERACCIONES Y CAMBIOS

Contenidos

1. Distribución de la energía solar que llega al planeta Tierra, el impacto sobre los seres vivos.

   Captación de la energía luminosa por las plantas. Fotosíntesis, procesos generales (sin entrar, de ninguna manera en procesos bioquímicos).

2. El trasiego de energía en el ecosistema, tipos de seres vivos en función de su situación en el circuito energético.

   Incorporación de energía en los seres vivos. La respiración es un mecanismo de obtención de energía

3. Intercambio de materia y energía en los diferentes ecosistemas
4. La materia, ciclos de la materia. El carbono, el nitrógeno y su circuito en un ecosistema tipo. Redes tróficas sencillas
5. Los cambios de los ecosistemas a lo largo del tiempo, concepto de clímax y sucesión ecológica; algunos ejemplos próximos.
6. Concepto básico de contaminación. Influencia humana en el desequilibrio de los ecosistemas.

Comentarios

Aunque los conceptos ecológicos no son difíciles de aprender por la motivación tan fuerte que ejercen sobre el alumnado, suele detectarse una cierta dificultad en el aprendizaje del concepto de red trófica, al menos en algunas más complicadas. Se interpretan las relaciones de forma muy lineal, de modo mucho más parecido a una cadena que a una red.

Otra de las dificultades de aprendizaje la constituyen los descomponedores que se suelen confundir con bastante frecuencia con los detritívoros.

Estas dificultades no resultan patentes, en general los resultados en los exámenes o en los trabajos que se acostumbra a encomendar son buenos, sin embargo estos conceptos revisten una seria dificultad, puesto que al cabo de un tiempo se vuelven a interpretar las situaciones como si de cadenas tróficas se tratara y como si la descomposición de la materia orgánica fuera un fenómeno mágico que no genera ni consume energía

Por otro lado, los conceptos de fotosínstesis y respiración presentan grandes dificultades para su aprendizaje significativo: no se dan, en estos niveles, los prerrequisitos de conocimiento y capacidad de abstracción para entender los procesos a nivel celular y, por tanto, es muy difícil encontrar una significación a estos conceptos que no entre de lleno en el de intercambio gaseoso (que es uno

de los aspectos que deseamos evitar). Por tanto la acción docente deberá centrarse en preparar el substrato para la posterior adquisición de estos conceptos, en sentar las bases de capacidad crítica y de análisis que permitan posteriormente su aprendizaje, por eso se observará que en el apartado de *criterios de evaluación* del Currículo oficial no figuran estos conceptos dentro de los conocimientos exigibles, habida cuenta de que después del trabajo en el aula, es esperable que un cierto porcentaje de alumnado no los haya asimilado (dependiendo del modo en que se hayan integrado o no estos conceptos en su red de conocimientos).

Por tanto, los trabajos deberían proponerse el a dejar claro que no puede existir un ser vivo pluricelular que no respire (sea animal o vegetal) y que esa necesidad es energética y no de intercambio gaseoso, dejando los procesos de respiración y fotosíntesis para niveles superiores.

Se puede trabajar este bloque de contenidos utilizando la emisión de hipótesis sobre las relaciones entre las diferentes poblaciones, contrastándolas luego con algunos datos (que son muy abundantes en la bibliografía por el interés despertado en los últimos años).

También es un buen momento para plantear un estudio de campo como pequeña investigación.

La Tierra cambia

Contenidos

1. Reconocimiento de ciertas formaciones geomorfológicas tales como: fosa oceánica, dorsal oceánica, cordillera, plataforma continental, talud continental, llanura abisal
2. Reconocimiento de fenómenos locales demostrativos de fenómenos tectónicos como pliegues y fallas
3. Procesos rápidos de dinámica y cambio terrestre perceptibles tales como sismos y volcanes
4. Ideas básicas de Wegener sobre deriva continental. El conflicto de sus teorías con la composición y edad de las rocas de los fondos oceánicos
5. Teoría de Tectónica de Placas: formación de océanos, formación de cordilleras, cambios en la posición espacial aparente de las zonas emergidas. El motor de los cambios, hipótesis de convección.

Comentarios

A pesar de que el alumnado apenas conoce esta teoría, es tan integradora que la idea básica es captada enseguida.

Aunque es probable que en este campo de conocimiento existan errores conceptuales, no parece que se comporten como un obstáculo epistemológico para la comprensión de la Dinámica litosférica.

Nos encontraremos con una abundancia de ideas inmovilistas (en las que no se cree en los cambios de la corteza terrestre) o bien catastrofistas (se piensa que los cambios que se producen son debidos a catástrofes rápidas y puntuales).

Este es un tema de trabajo muy adecuado para plantear una metodología por resolución de problemas, dado que la Ciencia continúa con ellos y como la historia de la Geología es bastante reciente podemos utilizar problemas históricos como recurso; además, tenemos la ventaja de que las hipótesis que emitirá nuestro alumnado no diferirán en esencia de las primeras hipótesis científicas con lo cual podremos utilizar datos históricos para ponerlas en cuestión e ir avanzando en la construcción de una teoría interpretativa más de acuerdo con lo que actualmente se sabe sobre dinámica cortical.

Bibliografía y recursos

Artículos de revistas e investigaciones sobre movimiento, gravitación, dinámica y estática de fluidos

Los artículos que se presentan seguidamente suponen, por una parte, la recopilación de las últimas investigaciones en el campo de la didáctica del movimiento, la gravitación, la dinámica y la estática de fluidos, y por otra, la referencia a estudios ya clásicos que han tenido una cierta significación en la didáctica de los temas que nos ocupan. Todos ellos tienen en común su preocupación por la ideas previas que presentan los estudiantes y las estudiantes, de aquí que algunos de ellos se ocupen casi exclusivamente de su detección y análisis, intentando determinar sus posibles causas. Otros, utilizando estudios anteriores y tratando de ratificar sus resultados, se centran principalmente en buscar alternativas didácticas para lograr superar o desarrollar estos esquemas.

De nuevo aprovechamos para insistir en la necesidad de una revisión de las últimas publicaciones en el campo de la didáctica como paso previo para la elaboración de una Unidad didáctica. La información que otros investigadores nos pueden proporcionar debe ser un punto de referencia obligado para determinar las ideas que poseen nuestros propios alumnos, así como para confeccionar y llevar a cabo las estrategias que permitan su cambio.

BARRAL, F. M. «¿Cómo flotan los cuerpos? Concepciones de los estudiantes». *Enseñanza de las Ciencias*. 8 (3). 244-250, 1990.

BEICHE, R. J. «The Effect of Simultaneus Motion Presentation and graph Generation in a Kinematics laboratory». *Journal of Research in Science Teaching*. 803-816, 1990.

BERG, T. y BROUWER, W. «Teacher Awareness of Student Alternate Conceptions about Rotational Motion and Gravity». *Journal of Research in Science Teaching*. 28 (1). 3-18, 1991.

BLISS, J. OGBORN, J. y WHITELOCK, D. «Secondary School pupils' commonsense theories of motion». *International Journal of Science Education*. 11 (3). 261-272, 1989.

BOYLE, R. K. y MALONEY, D. P. «Effect of Written Text on Usage of Newton's Third Law». *Journal of Research in Science Teaching*. 28 (2). 123-140, 1991.

CARRASCOSA, J. y GIL, D. «Concepciones alternativas en mecánica». *Enseñanza de las Ciencias.* 10 (3). 314-328, 1992.

CLEMENT, J. «Students preconceptions in introductory mechanics». *American Journal of Physics*. 50 (1). 66 y ss., 1982.

COLOMBO DE CUDMANI, L. y CUDMANI, C. «Física básica: incidencia de la instrucción sobre los errores conceptuales». *Enseñanza de las Ciencias*. 6 (2). 156-160, 1988.

DRIVER, R. «Cognitive pshycology and pupils' frameworks in mechanics. Proceedings of the G.I.R.E.P. Congress». 171-178. Utrecht: Holanda, 1984.

DRIVER, R. GUESNE. E. y TIBERGHIEN, A. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia.* Morata, Madrid, 1989.

DUIT, R. «Should energy be illustrated as something quasi-material?». *International Journal of Science Education.* 9 (2). 89-146, 1987.

ECKSTEIN, SH. G. y SHEMESH, M. «Development of Children's ideas on motion: intuitions logical thinking». *International Journal of Science Education.* 11 (3). 327-336, 1989.

FERNÁNDEZ, J. M. «Causas de las dificultades de aplicación del teorema de Arquímedes por los alumnos de enseñanza media». *Enseñanza de las Ciencias.* 3 (3). 185-187, 1985.

FISCHBEIN, F. STAVY, R. y MA-NAIN, H. «The psychological structure of naive impetus conception». *International Journal of Science Education.* 11 (1). 71-82, 1989.

GALILI, I. y BAR, V. «Motion implies force: where to expect vertiges of de misconception?». *International Journal of Science Education.* 14 (1). 63-82, 1992.

GILBERT, J.K. y ZYLBERSZTAJN, A. «A conceptual framework for science education: the case study of force and movement». *European Journal Science Education.* 7 (2). 107-120, 1985.

GUNSTONE, R. y WHITE, R. «Understanding of gravity». *Science Education.* 65 (3). 291-299, 1981.

GUNSTONE, R. y WHITE, r. «A matter of gravity». *Research in Science Education.* 10. 35-44, 1980.

HEWSON, P. W. «La enseñanza de «fuerza y movimiento» como cambio conceptual». *Enseñanza de las Ciencias.* 8 (2). 157-171, 1990.

HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y la Química.* Laia/MEC, Barcelona, 1989.

JONES, B. y LYNCH, P. P. «Children's conceptions of the earth. sun and moon». *International Journal of Science Education.* 9 (1). 43-54, 1987.

KOBALLA, T. R. Jr. «Using Salient Beliefs in Designing a Persuasive Message about Teaching Energy Conservation Practises to Children». *Science Education.* 73 (5). 523-534, 1989.

KRUGER, C. PALACIO, D. y SUMMERS, M. «Surveys of English Primary Teacher's Conception of Force. Energy and Materials». *Science Education.* 76 (4). 339-352, 1992.

MCDERMOTT, L. C. «Research in conceptual understanding of mechanics». *Physics Today.* 37. 23-32, 1984.

MCDERMOTT, L. C. «Critical Review of Research in the Domain of Mechanics». *Research on Physics Education.* Edittions du C. N. R. S., París, 1984.

NICHOLLS, G. y OGBORN, J. «Dimension of children's conceptions of energy». *International Journal of Science Education.* 15 (1). 73-82, 1993.

NUSSBAUM, J. y NOVAK, J. «An assessment of children's concepts of the earth utilising structured interviews». *Science Education.* 60(4). 535-550, 1976.

OSBORNE, R. y FREYBERG, P. *El Aprendizaje de las Ciencias. Implicaciones de la Ciencia de los Alumnos.* Narcea, Madrid, 1991.

SATHE, D. V. «Evaluation of Teaching Mechemics». *Journal of Research in Science Teaching.* 26(6). 557-558, 1989.

SEBASTIA, J. M. «Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes». *Enseñanza de las Ciencias.* 2 (3). 161-169, 1984.

STEINBERG, M. S. BROWN, D. P. y CLEMENT, J. «Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporany physics students». *International Journal of Science Education*. 12 (3). 265-273, 1990.

TROWBRIDGE, D. y McDERMOTT, L. C. «Investigation of student undertanding of the concept of velocity in one dimensione». *American Journal of Physics*. 58 (12). 1020 y ss., 1980.

THIJS, G. D. «Evaluation of an Introductory Course on "Force" Considering Student's Preconceptions». *Science Education*. 76 (2). 155-174.

VIENNO, L. «L'enseignement des ciencies physiques object de recherche». *Bulletin de L' Union des Physiciens*. 716. 899-910, 1989.

VIENNOT, L. «Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics». *European Journal in Science Education*. 1 (2). 205-221, 1979.

VIENNOT, L. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Hermann, París, 1979.

WATTS, D. M. ZYLBERSZTAJN, A. «A survey of some children's ideas about force». *Physics Educations.* 16 (6). 360-365, 1981.

WHITELOCK, D. «Investigating a model of commonsense thinking about causes of motion with 7 to 16 year-old pupils». *Internatinal Journal of Science Education.* 13 (3). 321-340, 1991.

Proyectos y materiales curriculares de interés

- AYENSA, J. M. GUTIÉRREZ, F. A. MOLLEDO, J. y RODRÍGUEZ, L. M.ª. *El aprendizaje cooperativo de la Física y la Química. Un proyecto para la Educación Secundaria*. Mira, Zaragoza, 1993.

  Estos materiales, ya citados en la Unidad de la Energía, están constituidos por un conjunto de programas de actividades que cubren los contenidos básicos de la Física y la Química para alumnos de 14 a 17 años. En ellos se pone especial relevancia en las ideas iniales de los y las estudiantes, como punto de partida del aprendizaje. Las actividades que contienen están diseñadas con el propósito de que sus ideas evolucionen y cambien. El principio metodológico fundamental que impregna el proyecto es el del trabajo en grupo. Las unidades que aquí se presentan son el resultado de un largo proceso de investigación en el aula realizado por nuestro grupo de trabajo durante los últimos diez años.

- CALATAYUD, M.ª L. *et al. La construcción de las ciencias físico-químicas.* Nau, Valencia.

  Estos programas *Programas-guía*, que podemos considerar ya clásicos dentro de la didáctica de la Física y Química para alumnos en edades comprendidas entre 14 y 17 años, se basan en el modelo constructivista del aprendizaje. Todas las actividades que se incluyen van acompañadas de comentarios para el profesor, donde se reflejan las posibles respuestas de los alumnos y alumnas y se dan orientaciones para su puesta en práctica. En el mismo texto se han elaborado dos versiones alternativas con el fin de flexibilizar la forma de trabajo.

- GRUP RECERCA-FARADAY. *Física Faraday*. Teide, Barcelona, 1988.

  Este proyecto inspirado en el *Project Physics* americano sigue la línea de trabajo de los programas-guía de actividades dentro de una orientación constructivista. En él, la evolución histórica de los conceptos que se tratan constituye el hilo conductor de la mayoría de los contenidos. Conjuntamente al libro del alumno existe una guía del profesor, donde se incluyen formas de trabajo y orientaciones para los docentes.

- LOPEZ RUPÉREZ *et al. Proyecto de enseñanza individualizada de ciencias experimentales.* ICE Univ. Autónoma, Madrid, 1983.

  Este proyecto, experimentado a lo largo del curso 1982-83, se fundamenta en una metodología que permite atender a cada alumno de acuerdo con sus características personales y sociales. De esta manera se trata de posibilitar un aprendizaje individualizado, donde cada alumno pueda avanzar a su propio ritmo en función de sus capacidades e intereses. Presenta el proyecto varios tipos de cuadernos: de instrucción, de aplicación-relación, de evaluación y de recuperación.

- NUFFIELD: *Física básica*. Reverté, Barcelona, 1984.

  Curso de Física dirigido a alumnos y alumnas de edades comprendidas entre los once y quince años. Los materiales se encuentran divididos en guías de experimentos, guías del profesor, libros de cuestiones, test y exámenes y libro de aparatos. Este proyecto se centra en el principio de descubrimiento inductivo y autónomo de los conceptos físicos, cuestión por lo que ha sido en ocasiones criticado. A pesar de esto, los materiales que aporta han sido experimentados y evaluados en 170 centros de Gran Bretaña, suministrando una fuente inagotable de información que ha sido utilizada por numerosos proyectos posteriores.

- NUFFIELD CO-ORDINATED SCIENCES. Logman, Inglaterra, 1988.

  Este último proyecto de la Fundación Nuffield presenta la novedad de ofrecer por separado los contenidos de Física, Química y Biología a la vez que se analizan de manera coordinada las relaciones de unos contenidos con otros, así como las implicaciones sociales y tecnológicas de los temas que se tratan. Está dirigido a alumnos y alumnas de edades comprendidas entre 14 y 16 y los materiales se presentan en una guía general, tres libros correspondientes a Física, Química y Biología y, por último, tres cuadernillos de prácticas.

- SCIENCE AND TECHNOLOGY IN SOCIETY (14-16) (S.A.T.I.S.). A.S.E. Herts, Reino Unido, 1986.
- SCIENCE AND TECHNOLOGY IN SOCIETY (16-19) (S.A.T.I.S.). A.S.E. Herts, Reino Unido, 1986.

  Estos proyectos han sido elaborados por profesores de la Asociación de Ciencias Británica y experimentados y evaluados durante varios años en colegios británicos. A través de los contenidos que se desarrollan se trata, entre otros muchos objetivos, de poner de manifiesto la importancia de las relaciones entre la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad. El material se presenta en unidades que comprenden notas para el profesor y páginas para el alumno. El S.A.T.I.S. constituye, en nuestra opinión, una de las propuestas curriculares más interesantes de estos últimos años, tanto por los contenidos que aborda como por las sugerencias metodológicas que incorpora. El profesor o la profesora podrá utilizarlo, en principio, como una fuente inagotable de recursos.

- SEMINARIO DE FÍSICA Y QUÍMICA DE LA AXARQUÍA. *Aprendizaje de la Física y Química*. Elzavir, Vélez-Málaga, 1989.

  Programas-guía de actividades para el aprendizaje de la Física y la Química dentro de la etapa de 15 a 16 años. enmarcados dentro de una orientación constructivista. En la guía para el profesor se presentan propuestas de trabajo y orientaciones didácticas.

Manuales y textos de divulgación

ALONSO, M. FINN, E. J. *Física (1.er vol.) Mecánica.* Fondo Educativo Interamericano, México, 1976.

FEYNMAN, R. *El carácter de la ley Física*. Antoni Bosch, Barcelona, 1983.

FEYNMAN, R. LEIGHTON, R.B. y SANDS, M. *Física* (vol. I). Fondo Educativo Interamericano, México, 1971.

HECHT, G. *Física en perspectiva*. Addison Wesley Iberoamericano, México, 1987.

SHAPIRO, G. *Física sin matemáticas*. Alhambra, Madrid, 1981.

TIPLER, P. A. *Física Preuniversitaria*. Reverté, Barcelona, 1991.

Historia de la ciencia

CARCAVILLA, A. La Historia de la Ciencia: una fuente de ideas para la introducción de conceptos de Física. *Aspectos didácticos de Física y Química (Física).* 4. I. C. E., Zaragoza, 1990.

COHEN, I. B. *El nacimiento de la nueva física*. Alianza, Madrid, 1986.

CROMBIE, A. C. *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo* (2 vol.). Alianza, Madrid, 1974.

DERRY, T. K. y WILLIAMS, T. I. *Historia de la Tecnología* (3 vol.). Siglo XXI, Madrid, 1980.

HARMAN, P. M. *Energía. fuerza y materia. El desrrollo conceptual de la física del siglo XIX*. Alianza, Madrid, 1990.

HARR, R. *Los grandes experimentos científicos*. Labor, Barcelona, 1986.

HISTORIA DE LA CIENCIA Y DE LA TECNOLOGÍA, Akal, Madrid, 1991.

HOLTON, G. y BRUSH, S. G. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Reverté, Barcelona, 1984.

MARCO, B. *Historia de la Ciencia. Material Didáctico. Documentos.* I. E. P. S., Madrid, 1984.

MASON, S.F. *Historia de las Ciencias* (Cinco vol.). Alianza, Madrid, 1985.

PRIGOGINE, I. y STENGERS, I. *La nueva alianza. Metamorfosis de la Ciencia.* Alianza, Madrid, 1990.

RUSSEL, C.A. *Copérnico.* ICE, Valencia, 1984.

SAMBURSKY, S. *El mundo físico de las griegos*. Alianza, Madrid, 1990.

SERRES, M. *Historia de las Ciencias*. Cátedra, Barcelona, 1991.

TATON, R. *Historia General de las Ciencias*. Destino, Barcelona, 1971.

THUILLIER, P. (vol. I y II). *De Arquímedes a Einstein. Las caras ocultas de la invención científica.* Alianza, Madrid, 1990.

Programas de ordenador y vídeos

Programas de ordenador

A continuación se presentan varios programas informáticos que pueden ser utilizados en las unidades citadas. En la mayoría de los casos, cuando se menciona la empresa suministradora, los programas proceden del proyecto Atenea. En otros casos, los menos frecuentes, el programa debe ser preparado por el profesor o profesora.

En cada uno de los programas sólo se indican sus opciones y posibilidades y no se menciona la estrategia didáctica que se debe seguir en clase, misión que depende del criterio de cada profesor o profesora.

- Modelos elaborados con una hoja de cálculo -por ejemplo, la del paquete integrado WORKS- relativos al estudio de movimientos, cualquiera que sea su trayectoria. En particular, se puede:

  — Analizar verbalmente gráficas posición-tiempo y velocidad-tiempo.

  — Calcular el desplazamiento, la distancia recorrida o la velocidad media a partir de las gráficas posición-tiempo.

  — Estimar si existe o no aceleración, y calcularla, analizando gráficas velocidad-tiempo.

  Estos modelos son generados por el propio profesor o profesora. Se trata de ejercicios que suelen ser resueltos con lápiz y papel. La introducción en este caso de medios informáticos presenta la ventaja de poder suministrar rápidamente un elevado número de problemas en una amplísima gama de situaciones.

- Modelo elaborado con una hoja de cálculo para ilustrar el concepto de velocidad instantánea como un proceso de paso al límite en el cálculo de la velocidad media.

- Módulo *MOVIMIENTO RECTILÍNEO,* de Idealogic/SM

  Se debe trabajar únicamente el Nivel I, concebido por los autores para la etapa de 11 a 14 años. Consta este programa de cuatro opciones, de las cuales tres pueden ser utilizadas en esta Unidad:

  — Plano descendente

  — Plano ascendente

  — Planos inclinados

  En todos ellos se puede hacer un estudio cinemático y un estudio energético. Para esta Unidad proponemos, obviamente, el primero. El usuario establece las condiciones del experimento (ángulo de inclinación, altura desde la que se inicia el movimiento y masa), suponiendo rozamiento nulo. Seguidamente el programa ejecuta una simulación del movimiento y da como resultado una tabla con los valores de la posición, el desplazamiento y la velocidad instantánea para diversos valores del tiempo. También se obtienen las gráficas posición-tiempo y velocidad-tiempo.

  En principio, puede parecer un inconveniente que el programa solicite la masa del móvil. Sin embargo, este hecho presenta la ventaja de constatar que en el estudio cinemático de un movimiento la masa es un factor irrelevante.

- Módulo *VELOCIDAD,* del Microlaboratorio de Resolución de Problemas, de Degem Systems Ltda.

Problema 2	*Movimiento rectilíneo uniforme*
Problema 5	*Velocidad media*
Problema 10	*Análisis de una gráfica v/t.*

DINÁMICA. ALGUNAS FUERZAS DE INTERÉS

- Módulo *DINÁMICA I: FUERZAS,* de Idealogic/SM

  Consta este programa de tres opciones, de las cuales se trabajan las dos primeras:

  a) Movimiento de cuerpo sobre un plano horizontal bajo la acción de una fuerza horizontal.

b) Movimiento de un cuerpo verticalmente hacia arriba bajo la acción de una cuerda que pasa por la garganta de una polea.

Para este nivel habría que analizar los casos sin rozamiento.

En la opción **a)**, hay que introducir los valores de la masa, la fuerza aplicada y el coeficiente de rozamiento. El programa hace una simulación del movimiento y facilita los valores de la posición, la velocidad, la variación de la velocidad y la tasa de variación media de la velocidad para distintos instantes. También suministra las gráficas posición-tiempo y velocidad-tiempo.

En la sección **b)**, el programa solicita los valores de la fuerza y de la masa y proporciona la misma información que en el caso anterior.

- Módulo *FUERZA,* del Microlaboratorio de Resolución de Problemas. de Degem Systems Ltda.

Problema 1	Composición de fuerzas de la misma dirección y sentido
Problema 2	1ª Ley de Newton

- Módulo *PRESIÓN,* del Microlaboratorio de Resolución de Problemas, de Degem Systems Ltda.

Problema 3	*Principio de Arquímedes*
Problema 4	*Presión ejercida por sólidos*
Problema 5	*Presión hidrostática*
Problema 6	*Presión hidrostática*
Problema 7	*Presión hidrostática*
Problema 8	*Concepto de presión*
Problema 9	*Presión hidrostática*
Problema 10	*Presión hidrostática*

GRAVITACIÓN

- Módulo *MOVIMIENTO RECTILÍNEO,* de Idealogic/SM

Se debe trabajar únicamente el Nivel I, concebido por los autores para edades comprendidas entre 11 y 14 años. Consta este programa de cuatro opciones, de las cuales una puede ser utilizada en esta Unidad:

Movimiento vertical (caída libre, lanzamiento hacia arriba)

En todos ellos es posible hacer un estudio cinemático y un estudio energético. Para esta Unidad proponemos, de nuevo, el primero. El alumno puede establecer las condiciones del experimento. Después, el programa hace una simulación del movimiento y da como resultado una tabla con los valores de la posición, el desplazamiento y la velocidad instantánea para diversos valores del tiempo. También se obtiene las gráficas posición-tiempo y velocidad-tiempo.

- Módulo *MOVIMIENTO CIRCULAR,* de Idealogic/SM

Se puede utilizar la opción Movimiento de planetas. El programa solicita el radio de la trayectoria (en las unidades que interesa) y otra magnitud cinemática. Para este nivel, creemos que sólo se ha de introducir el período. A continuación, se produce la simulación del movimiento planetario. Las gráficas y tablas que se obtienen caen fuera de los objetivos de este curso.

Vídeos

Muchos son los vídeos que actualmente aparecen en el mercado acerca del movimiento y las leyes de Newton dentro de proyectos audiovisules que abarcan todas las Ciencias de la Naturaleza, pero en general presentan serios inconvenientes a la hora de introducir los conceptos, tanto por la abundancia de errores conceptuales que se observan como por la falta de criterios en su introducción.

Uno de los vídeos que podemos destacar por la clara y correcta exposición de los conceptos que se tratan es el presentado por la Open University con el título *Movimiento. Leyes de Newton* (Áncora Audiovisual: Barcelona). Este vídeo, de un nivel quizá un poco superior a la etapa en la que nos movemos, se encuentra dividido en **dos partes**. En la **primera**, se exponen las tres leyes de Newton de una manera sencilla y comprensible para los estudiantes y las estudiantes. Se incluyen varias experiencias demostrativas de dichas leyes utilizando, en algunos casos, situaciones ideales realizadas en naves espaciales o, en otros casos, a través de experimentos de laboratorio, realizados en pistas de hielo, carriles de aire o mesas pulimentadas.

En una **segunda parte**, se introducen algunas consecuencias de las leyes de Newton, por ejemplo, la conservación del momento, tema del que habrá que prescindir ya que por ahora se encuentra fuera de nuestro interés. Otras consecuencias que se analizan de manera muy atractiva, mediante sencillos experimentos, son la diferencia entre masa y peso, la independencia de la primera en el tiempo invertido en una caída libre y, por último, el efecto de las fuerzas centrales en los movimientos circulares, justificando el movimiento orbital de los objetos celestes.

Referencia obligada merecen una nueva colección de cinco vídeos didácticos que acaban de ser publicados por el I. C. E. de Zaragoza (1993), cuyo guión y dirección corresponden a GUALLART, C. M.ª, y VIGUERA, J. A. constituidos por cuatro unidades didácticas: *Energía y sociedad; El carbón y la central térmica; Energía hidroeléctrica; Energía, industria y ecología* y, por fin, dos documentos de apoyo. Cada uno de los cuatro primeros vídeos van acompañados de dos Guías Didácticas, para el profesor y para el alumno.

Otros vídeos que pueden utilizarse en algunas secciones concretas de los temas tratados son los siguientes:

- *¿Qué es la cinemática?* Didavisión. Near S. A., Bilbao.
- *La fuerza y el movimiento. Las leyes de Newton.* Didavisión. Near S. A., Bilbao.
- *Las fuerzas que rigen el Universo.* Didavisión. Near S. A., Bilbao.
- *Física. Cinemática 1.* Didascalia vídeo, Madrid.
- *Gravedad. Serie Ojo Científico.* Imagen 35 y Asociados, Madrid.

ADENIYI, E. O. «Misconceptions of selected ecological conceptes geld by from Nigerian Students». *Journal of Biological Education* 19 (4). 311-514, 1985.

ALEXANDER, S. K.«Food web analysis: an ecositem approach». *American Biology Teacher.* 44 (3). 189-190, 1982.

ASTUDILLO, H. GENE, A. «Errores conceptuales en Blología. La fotosíntesis de las plantas verdes». *Enseñanza de las Ciencias*. 2 (1). 15, 1984.

BELL, B. «Students ideas about plants nutrition: What are they?». *Journal of Biological Education*. 19 (3). 213, 1985.

BRUMBY, M. «The use of problem-solving in meaningful learning in Biology (The dinosaur problem)». *Research in Science Education*. 11. 103-110, 1981.

CA-AL, P. «Las nutrición vegetal un año después. Un estudio de caso en 7.º de EGB». *Investigación en la escuela*. n.º 3. 55, 1987.

CABALLER, M. J. «Ensenyar i aprendre Ciéncies: Plantejament de Problemes». *Espais Didáctics*. n.º 2. 20, 1991.

CABALLER, M. J. GIMÉNEZ, I. y MADRID, A. *Ecosistemas y Cambios. 4.º Curso de Enseñanza Secundaria*. Generalitat Valenciana, Valencia, 1992.

FERNÁNDEZ MANZANAL, R. *Ideas del alumnado sobre ecología, una propuesta didáctica para su modificación*. Tesis doctoral inédita. Santiago de Compostela, 1993.

GAGLIARDI, R. «Cómo utilizar la Historia de las Ciencias en la Enseñanza de las Ciencias». *Enseñanza de las Ciencias*. 6. 291, 1988.

GARRET, R. M. «Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de Ciencias». *Enseñanza de las Ciencias*. 3 (6). 224, 1988.

GRIFFITHS, A. K. y GRANT, B. A. C. «High school students understanding of food webs: identifitation of learning hierarchy and related misconceptions». *Journal of research in Science Teachin*g. 22 (5). 421-436, 1985.

OTERO, J. «La producción y la comprensión de la Ciencia: elaboración del aprendizaje de la ciencia escolar». *Enseñanza de las Ciencias*. 7 (3). 223-228, 1989.

PEDRINACI, E. «Representaciones del alumnado sobre los cambios Geológicos». *Investigación en la Escuela*. 2. 65-74, 1987.

PEDRINACI, E. «Catastrofismo *versus* actualismo: Implicaciones didácticas». *Enseñanza de las Ciencias*. 0 (2). 216, 1992.

RUMELHARD, G. «Quelques representations a propos de la photosynthese». *Aster*. n.º 1. 37, 1985.

SATVY, R. EISEN, Y. YAAKOBI, D. «How students aged 13-15 understand photoshyntesis». *International Journal of Science Education*. 9 (1). 105-115, 1987.

SEQUEIROS, L. y MARTÍNEZ-URBANO, M. «Evolución y persistencia de las representaciones mentales: La creación del mundo y el origen del hombre». *Investigación en la Escuela*. 16. 39, 1992.

SMITH, E. L. ANDERSON, C. W. «Plants as producers: a case study of elementary science teaching». *Journal of Research in Science Teaching*. 21 (7). 685, 1984.

Dirección General de Renovación Pedagógica
Subdirección General
de Programas Experimentales