

Tema 1

EL LUGAR DE LA TIERRA EN EL UNIVERSO

COMENTARIOS GENERALES

La secuenciación de este tema en el currículo responde a un criterio meramente cronológico. Empieza con lo más antiguo, el origen del Universo, hace unos 13.500 millones de años (Ma) para pasar a la génesis de los elementos, empezando con la nucleosíntesis primordial de elementos ligeros (H, D, T, He...) y siguiendo con la génesis de los restantes por las reacciones nucleares en el interior de estrellas masivas, cuya explosión (novas y supernovas), permite que los restantes elementos pesados formen parte de los sistemas de las nuevas generaciones de estrellas, en los que puede originarse la vida. Todo esto se sintetiza en la brillante expresión de que somos “polvo de estrellas” o cenizas o hijos de las estrellas (Sagan). Se completa el tema con la exploración del sistema solar.

La propuesta de currículo sigue con la formación de la Tierra, hace unos 4.500 Ma mostrando la diferenciación en capas y su dinámica, explicada con la tectónica global. En la Tierra, hace unos 3.500 Ma se produce el origen de la vida. Es un hecho que la vida evoluciona, lo que lleva a introducir la mejor teoría para explicarlo, la selección natural darwiniana y su explicación genética actual. Por último, hace 2 Ma aparecen los primeros homínidos inteligentes, el *Homo habilis*.

Pero esto es contradictorio con otros objetivos y contenidos de la materia, a saber, que el alumno entienda como la ciencia ha llegado a demostrar esas determinadas proposiciones, es decir, como se realiza el trabajo científico.

Es muy difícil que el alumnado comprenda y, en consecuencia, pueda aprender proposiciones difíciles de entender por el ser humano, ya que implican dimensiones (p. e., el tamaño del Universo es de 13.500 millones de años luz, es decir, 10^{26} m) y tiempos (la vida de la Tierra es de 4.500 millones de años) que superan con mucho la escala humana (1,7 m y 70 años). En consecuencia, el alumnado “acepta” estas proposiciones por la autoridad del profesorado, del libro de texto y, de la misma forma, las olvida.

Es decir, el alumnado debe comprender qué hipótesis, observaciones, experimentos, etc., llevan del universo del sentido común centrado en la Tierra, con 7 “errantes” y un millar de estrellas “fijas”, pequeño (con dimensiones menores que las del actual sistema solar) y “creado” hace unos 6.000 años, a un universo poblado por 10^{11} galaxias (universos islas), con un tamaño de 10^{26} m y una duración de 13.500 millones de años.

Debe comprender que la vida, en toda su actual diversidad de especies, no fue creada, como antaño se creía, junto con el universo hace 6.000 años, porque hay evidencias de que las especies evolucionan a partir de otras anteriores, y de que esta evolución requiere mucho tiempo (miles de Ma), lo que exigió que los físicos tuviesen que buscar nuevos procesos que explicasen la edad de la Tierra. Por último, permite comprender que no todo existe para nosotros (los seres humanos o, lo que aún es peor, las actuales generaciones), que existía antes de que el ser humano hiciese su aparición sobre la Tierra y que continuará existiendo cuando ya no estemos aquí. O aplicado a las actuales generaciones, nos permite comprender que no tenemos derecho a explotar el mundo (agotando sus recursos y destruyendo el medio ambiente), olvidando a las generaciones futuras. Estos datos nos dan una buena idea de nuestro lugar en el universo.

Entre las preguntas que los estudiantes formulan, nos interesa destacar algunas como las siguientes: ¿qué relación existe entre la fuerza gravitatoria que ejercen los cuerpos y el movimiento de los planetas o de los cuerpos en el universo?, ¿cuál es la naturaleza de esta interacción? También suelen mostrar interés acerca de los distintos cuerpos del sistema solar y del universo, sus relaciones, cómo ha evolucionado históricamente la concepción del universo, así como a aspectos relativos a la utilidad y a las repercusiones que tiene todo esto en el ámbito tecnológico, en la vida diaria, etc.

Se trata, pues, de un capítulo excepcional desde el punto de vista no sólo científico sino también didáctico, en el que se abordarán con detenimiento, como iremos viendo, aspectos que van a contribuir de forma relevante a mostrar una imagen de la ciencia contextualizada, en toda su riqueza y complejidad: aprovechando los acontecimientos históricos para una mayor comprensión de los conocimientos científicos, considerando los problemas planteados que llevaron a la construcción de dichos conocimientos, abordando las dificultades ideológicas con las que, a lo largo de muchos años, numerosos científicos tuvieron que enfrentarse (persecuciones, condenas...) y, muy en particular, aproximándonos al surgimiento de un nuevo paradigma, basado en unas mismas leyes para todo el universo y fruto del trabajo de muchas personas (Copérnico, Kepler, Galileo, Newton y un largo etcétera), que unificaba la mecánica terrestre y celeste, poniendo fin a una de las barreras que había impedido el avance científico a lo largo de más de veinte siglos.

Y hay que resaltar, insistimos, sus enormes implicaciones en nuestras concepciones del universo y en las actuales formas de vida. De este modo, los estudiantes pueden asomarse a aspectos fundamentales de la actividad científica y tecnológica que a menudo son ignorados en la enseñanza y que pueden contribuir a mostrar su naturaleza de desafío apasionante. Algo absolutamente necesario para romper con el creciente desinterés hacia los estudios científicos, tal y como ha mostrado la investigación didáctica (Simpson et al., 1994; Furió y Vilches, 1997).

El texto del alumno y del profesor se basan en publicaciones previas, dada la gran relevancia didáctica del mismo (Solbes y Tarín, 1996; Hernández et al, 1999; Solbes, 2002; Carrascosa et al. 2005).

COMENTARIOS AL APARTADO 1. ANTECEDENTES: PRIMERAS IDEAS SOBRE EL UNIVERSO

FUENTE: Viñetas de HERGÉ, *Las aventuras de Tintín. El templo del Sol*. Barcelona: Juventud y MONTERROSO, *El eclipse*. Madrid: Alianza.

La primera actividad (A.0) sirve de iniciación al tema y se compone de dos partes. La primera es el cómic de Tintín y la segunda un breve relato de Monterroso y su objetivo es la comprensión lectora. En la 1ª cuestión se pide que obtengan información a partir de la imagen. En la segunda, que elaboren una interpretación sobre la intención del personaje, que es demostrar a los incas su dominio de la naturaleza y la reflexión y valoración sobre el contenido del texto, que desarrolla una creencia bastante extendida en occidente, que “nosotros” sabemos astronomía y los indígenas (incas en esta historieta) no y, en consecuencia, que nuestro conocimiento de la naturaleza nos hace superiores a otros pueblos.

El relato también facilita la realización de actividades de comprensión lectora. En la primera cuestión se pide que obtengan información sobre la época, el lugar y los personajes. La época es los inicios de la colonización de América, es decir, el reinado de Carlos V, el lugar Guatemala (aunque en aquella época no tenía esa denominación) y los personajes un misionero español (que junto con los militares, fueron los primeros protagonistas de la conquista) e indígenas, posiblemente mayas por su ubicación. El modelo astronómico de fray Bartolomé es el de Aristóteles, el geocéntrico. En la segunda cuestión, se trata de que elaboren una interpretación sobre la intención del personaje, que es idéntica a la de Tintín, demostrar a los indígenas su superioridad por su dominio de la naturaleza. Por último, la reflexión y valoración sobre el contenido del texto pone de manifiesto que Monterroso cuestiona la difundida creencia del superior conocimiento de la astronomía en Occidente. Se sabe que los mayas elaboraron 3 precisos calendarios basados en el Sol, la Luna y Venus, y que buscando en qué fecha se daba simultáneamente el inicio de los 3 calendarios, encontraron periodos temporales de millones de años (de ahí las “infinitas fechas” del cuento), cuando en Europa las estimaciones de la edad de la Tierra (y, por tanto, del Universo) se basaban aún en el siglo XVIII en cronologías bíblicas, como veremos en el tema de evolución. Se supone que el edificio conocido como el caracol en la ciudad maya de Chichen Itza pudo haber servido de observatorio astronómico.

La A.1 permite la obtención de información a partir del texto. La A.2 plantea la reflexión y valoración sobre el contenido del texto y permite mostrar que las observaciones astronómicas estuvieron asociadas, desde sus orígenes, a confusas creencias astrológicas, en las que vale la pena detenerse, dado que la astrología mantiene hoy su presencia (y, desgraciadamente, su atractivo) en ciertos sectores culturales.

Resulta necesario, pues, clarificar estas cuestiones y que los estudiantes comprendan que la Astronomía es una ciencia que estudia el universo, mientras que la Astrología es una pseudo-ciencia que pretende, sin pruebas (o, más bien, sin tener en cuenta todas las pruebas en contra), que los planetas influyen en nuestras vidas personales. Y si en tiempo de Ptolomeo la distinción entre ambas no era clara, hoy día sí lo es.

Cuando los estudiantes realicen esta actividad, lo primero que descubrirán será la dificultad de realizar observaciones en la gran mayoría de nuestras poblaciones. Ello puede dar pie al inicio de una discusión acerca de los problemas que plantea la contaminación atmosférica y, muy particularmente, la lumínica, que nos está privando literalmente del paisaje celeste, además de afectar a los ciclos vitales de las plantas y los animales que viven en las ciudades, incluidos los seres humanos. Se trata de un aspecto sobre el que incidiremos en una próxima actividad.

Esta “recuperación” del paisaje celeste se convierte en una actividad particularmente atractiva para muchos estudiantes. Es conveniente, pues, incluir actividades como las siguientes y, a ser posible, organizar observaciones en lugares alejados de las ciudades.

Al margen de establecer este hecho fundamental del giro aparente de la inmensa mayoría de los objetos celestes en torno a la Tierra -con la sola excepción de los planetas-, con estas actividades se pretende que los estudiantes comiencen a familiarizarse con el cielo nocturno, así como con el uso del planisferio, de programas informáticos e, incluso, de telescopios si se dispone de ellos. Algo que deberá ir realizándose a lo largo del tema y, en particular en los últimos apartados, cuando abordemos una visión más actual del universo, ya que en el planisferio se presentan también nebulosas, cúmulos de estrellas y galaxias, etc.

COMENTARIOS AL APARTADO 2. EL SISTEMA GEOCÉNTRICO

Los estudiantes comprenden así que estas ideas no eran descabelladas, sino que se apoyaban, como hemos visto, en experiencias de la vida cotidiana.

Conviene tener presente, por otra parte, que los estudiantes no sostienen hoy el modelo geocéntrico del universo, ya que conocen los movimientos de la Tierra, así como la estructura del sistema solar. En cambio, sí poseen, como iremos viendo en el desarrollo del tema, concepciones que les hacen pensar que la explicación del movimiento de los cuerpos en la Tierra y sus proximidades es distinta a la de los cuerpos muy alejados de ella, manteniendo todavía, en alguna medida, una clara diferencia entre el mundo celeste y terrestre. Conviene, por lo tanto, que vayan saliendo a la luz sus concepciones, de las que nos ocuparemos a lo largo del desarrollo del tema. De este modo el estudio de la evolución de los modelos acerca de la estructura del universo representa para ellos un verdadero enriquecimiento, que no tiene lugar cuando nos limitamos a transmitir los conocimientos actualmente aceptados.

Puede ser interesante detenerse en mostrar -proporcionando alguna información elemental al respecto (Holton y Brush, 1976; Holton, Rutherford y Watson, 1982; Mason, 1985)- cómo el sistema explicaba los cambios observados en la Tierra a partir de la existencia y combinación de cuatro elementos o “esencias” (tierra, agua, aire y fuego), así como la perennidad del mundo celeste, formado por una “quinta esencia” o éter, de perfección absoluta.

Todo ello da pie a mostrar el carácter colectivo de la ciencia, fruto del trabajo de muchas personas, así como las dificultades con que se enfrentaron las mujeres en

ese ámbito, personificadas, como podemos apreciar en la A.8, en Hypatia, sobre lo que versa la película “Ágora” de Alejandro Amenábar.

La A.9 permite, a partir de la lectura del texto que la precede, permite obtener información y elaborar una comprensión general del mismo.

COMENTARIOS AL APARTADO 3. EL MODELO HELIOCÉNTRICO

Con la actividad 10, basada en un texto de elaboración propia sobre Copérnico y el modelo heliocéntrico, se pretende, en primer lugar, que los estudiantes obtengan información del mismo. Por último, la tercera cuestión favorece la reflexión y valoración de los argumentos contenidos en dicho texto. Además, permite que se asomen a la historia de la ciencia y conozcan su capacidad para contextualizar el desarrollo científico y mostrar su carácter de aventura colectiva. El establecimiento del modelo heliocéntrico fue, efectivamente, el trabajo de muchas personas, que tuvieron que enfrentarse a serios problemas, ya que sus ideas cuestionaban, como ya hemos señalado, más allá del sistema geocéntrico, la visión jerárquica de la sociedad, que negaba la libertad de pensamiento e investigación en nombre de los dogmas religiosos.

La actividad 12 puede ser una buena ocasión para poner de manifiesto las complejas interacciones entre la ciencia y la tecnología, saliendo al paso de la consideración simplista de la tecnología como mera aplicación de la ciencia (Maiztegui et al., 2002). En efecto, fue el descubrimiento del telescopio (un artefacto tecnológico) lo que hizo posible observaciones fundamentales en apoyo del modelo heliocéntrico. Y esto es algo que encontramos a menudo en el desarrollo de la ciencia y sobre lo que conviene insistir siempre que haya ocasión. Por eso es necesario clarificar, atendiendo al desarrollo histórico de ambas, que la actividad técnica ha precedido en milenios a la ciencia, que la tecnología no es, pues, un subproducto de la ciencia, un simple proceso de aplicación del conocimiento científico para la elaboración de artefactos. Y no se trata tan solo de señalar el impulso que éste u otros desarrollos tecnológicos pueden dar a la ciencia, como es el caso que nos ocupa del telescopio de Galileo. El punto de partida de la Revolución Industrial, por ejemplo, fue la máquina de Newcomen, que era fundidor y herrero. Como afirma Bybee (2000), “Al revisar la investigación científica contemporánea, uno no puede escapar a la realidad de que la mayoría de los avances científicos están basados en la tecnología”. Y ello cuestiona la visión elitista, socialmente asumida, de un trabajo científico-intelectual por encima del trabajo técnico.

Las A.14 y 15 permiten ver que historia de la ciencia es pródiga, desgraciadamente, en conflictos entre dogmatismos y libertad de investigación. La condena a la hoguera de Miguel Servet por atreverse a investigar en el interior del cuerpo humano y la inclusión del *Origen de las especies* en el Index Librorum Prohibitorum, oponiéndose a la revolución científica que supuso el evolucionismo, son dos de los casos más conocidos, que suelen ser señalados por algunos estudiantes. Pero los ejemplos pueden multiplicarse y llegar a nuestros días. Se puede mencionar que los conflictos no sólo han sido con la

religión sino con regimenes absolutistas decimonónicos (ver tema de “Los seres vivos y su evolución”) o dictaduras del siglo XX, que han perseguido no sólo a científicos por su raza o ideología, sino ideas científicas (la relatividad por el nazismo, la genética o la cuántica por el estalinismo o la evolución por el franquismo). Entre los más recientes, la oposición frontal de los creacionistas norteamericanos a la teoría de la evolución o de determinados sectores de ideología conservadora a la investigación con células madre embrionarias. Pero es importante que los estudiantes comprendan que el rechazo del heliocentrismo constituye el ejemplo más paradigmático de resistencia a la libertad de investigación y de oposición absoluta al avance científico. De hecho, como ya hemos señalado, la “rehabilitación” de Galileo por la Iglesia Católica tuvo que esperar a fines del siglo XX.

COMENTARIOS AL APARTADO 4. LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL. LA SÍNTESIS NEWTONIANA

Digamos de entrada que, como han mostrado numerosas investigaciones, muchas personas piensan que “un objeto en órbita no pesa”, puesto que no “cae” a la Tierra. Así, cuando se pide a los estudiantes que “dibujen las fuerzas que actúan sobre un objeto que cae en las proximidades de la superficie terrestre y sobre un satélite puesto en órbita alrededor de la Tierra”, muchos estudiantes consideran que la fuerza neta sobre el satélite ha de ser nula, puesto que “se encuentra en equilibrio”. La separación Cielo-Tierra no es, pues, “una idea absurda del pasado”, sino que responde al sentido común, como tantos otros aspectos del modelo aristotélico. Pero la aplicación consecuente de los principios de la dinámica llevó a Newton -y ha de llevar a los alumnos- a comprender que si la Luna gira (cambia la dirección de la velocidad), debe estar actuando sobre ella alguna fuerza resultante, ya que si no llevaría un movimiento rectilíneo uniforme. ¿Pero cuál podría ser esa fuerza?

En cualquier caso, con la Teoría de la Gravitación Universal, culmina lo que ha sido considerado el paradigma de las revoluciones científicas: por lo profundamente que afectó a los conocimientos científicos; por su repercusión en las concepciones acerca del lugar que los seres humanos ocupamos en el universo; por las dificultades que tuvo que superar (dogmas, fanatismos, persecuciones...); por realizar la integración de dos campos del conocimiento (astronomía y mecánica terrestre) que parecían inconexos... Y aún podríamos añadir: por las repercusiones que siglos después tendría la puesta en órbita de satélites artificiales, que iban a contribuir a transformar radicalmente la vida de los seres humanos. Pero de ese tema hablaremos más adelante. Ahora es preciso completar el estudio del establecimiento de la Ley de la Gravitación Universal, lo cual exige pasar de las intuiciones cualitativas a las formulaciones operativas y a someter a prueba las predicciones cuantitativas.

La actividad 19 es muy importante para salir al paso de errores que los estudiantes tienen sobre las magnitudes del sistema solar. Si toman 10.000 km (aproximadamente el diámetro de la Tierra) como un cm, una simple proporción muestra que Neptuno se encuentra a 4,5 km (y Plutón a 5,94 km). Por tanto, para poder realizar la actividad

es conveniente que los estudiantes midan la distancia más larga en el centro (una valla exterior de 225 m, por ejemplo) y la hagan proporcional a la distancia de Neptuno, lo que puede dar para la Tierra un diámetro de 0,5 mm.

COMENTARIOS AL APARTADO 5. IMAGEN ACTUAL DEL UNIVERSO

En A.20 se proporciona una nueva y mayor imagen del Universo, en la que el sistema solar y una multitud de miles de millones de estrellas (con sus posibles sistemas) giran alrededor del centro de la galaxia, poniendo de manifiesto el carácter universal de la gravitación.

Teniendo en cuenta que la velocidad de la luz en el vacío es de 300.000 km/s, encontramos en A.21 que el Sol está a unos 150 millones de km. Y Alfa a 41 billones de km, es decir, ¡273.300 veces la distancia entre la Tierra y el Sol! Un año luz son 9,46 billones de km.

En A.23 se sale al paso de una idea bastante extendida entre el alumnado: no se trata de que el núcleo proyectase violentamente hacia el exterior toda la materia que contenía sino de que el espacio se crea en la expansión (Solbes y Tarín 1995).

En A.25 podemos ver que, en la actualidad, no se conoce Ω con exactitud y que, en consecuencia, no se puede asegurar si nuestro Universo es abierto, cerrado o plano ni predecir su evolución futura.

COMENTARIOS AL APARTADO 6. LA CONQUISTA DEL ESPACIO

En la A.26 se pueden mencionar dos razones. En primer lugar, porque el proyectil tiene que pasar de 0 a 11,2 km/s en los 300 m de longitud del cañón, para lo que son necesarias aceleraciones muy superiores a 10 g, máximo tolerable por el ser humano. El profesor puede calcular la aceleración que es necesario darle al proyectil para que en la boca del cañón su velocidad sea igual a la de escape. En segundo lugar porque esas velocidades tan elevadas se obtienen en las capas más bajas de la atmósfera, donde ésta es más densa, con lo cual la fuerza de rozamiento es mayor. En consecuencia si el proyectil no se funde por el rozamiento, se verá muy frenado.

En la siguiente actividad (A.27) podemos ver que la velocidad de rotación de la Tierra sobre sí misma, que es máxima en el Ecuador, se sumará a la del cohete (siempre que se lance en el sentido de rotación de la Tierra). Por tanto la velocidad que se ha de comunicar al cohete es menor cuanto más próxima esté la órbita al Ecuador. Por eso la URSS lanzaba sus cohetes desde Kazajstán (y Rusia sigue haciéndolo) y Europa los lanza desde la Guayana Francesa.

La A.28 es una actividad sobre ingravidez. A este respecto, una idea que aparece en los alumnos y también en el propio Verne es que la gravedad sólo desaparece en el punto neutro entre la Tierra y la Luna, es decir, el punto donde se igualan las fuerzas de atracción de la Luna y la Tierra.

A lo largo del tema ya se han ido realizando pausas de reflexión, a la vez que se ha resaltado el carácter revolucionario del paso del geocentrismo al heliocentrismo, lo que ha permitido comprender el modo de crecimiento de la ciencia y evitado visiones de crecimiento lineal. A la vez que se han analizado esos momentos culminantes en la historia del pensamiento que supusieron la remodelación del cuerpo de conocimientos tras el cuestionamiento de tesis aceptadas durante milenios.

Pero queremos señalar que el final del tema constituye una ocasión privilegiada para abordar aspectos fundamentales de la actividad científica, como lo referido a la recapitulación y las perspectivas abiertas con los desarrollos abordados. Por esta razón, se propone ahora un grupo de actividades que permiten recapitular todo lo estudiado en el tema, revisando y sintetizando lo que supuso esa gran revolución científica, el hundimiento de la barrera que separaba el Cielo de la Tierra, el surgimiento de un nuevo paradigma y la integración, por primera vez en la historia de la humanidad, de dominios aparentemente inconexos.

Una ocasión, también, para tratar de nuevo las relaciones CTSA, que han sido contempladas desde el inicio del tema pero que, tras avanzar en el estudio de la problemática abordada, es necesario analizar con mayor profundidad, conectando los aspectos tratados con los desarrollos tecnológicos y la sociedad y el medio en que se desarrollan (Solbes, 2002). Así, ya nos referimos a lo que supuso la búsqueda de una mejora en las predicciones astronómicas, fundamental para los largos viajes lejos de las costas que tuvieron lugar en el siglo XV y que influyeron en el impulso que recibieron en esos años las investigaciones en el campo de la astronomía. También abordamos las barreras ideológicas a aceptar el movimiento de la Tierra, lo que constituye un magnífico ejemplo del papel subversivo del desarrollo científico, de cuestionamiento de dogmas y barreras a la libertad de pensamiento. Y es posible referirse a la contribución de todos estos desarrollos en acciones transformadoras en la Tierra, facilitando los grandes descubrimientos y con ellos la primera gran globalización y las transformaciones sociales y del medio físico que provocó en todo el planeta, conduciéndonos a la actual situación de emergencia planetaria (Bybee, 1992) que reclama decididas acciones correctoras (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Mayor Zaragoza, 2000; Vilches y Gil, 2003).

Y si extendemos la consideración de estas implicaciones hasta nuestros días, nos encontramos con consecuencias aún mayores como, por ejemplo, las posibilidades por los satélites artificiales que han modificado en profundidad la vida en la Tierra, haciendo posible la transmisión casi instantánea de información y de transacciones de todo tipo, así como la predicción de fenómenos atmosféricos, el estudio de la evolución de los ecosistemas, la detección de incendios, etc., sin olvidar las repercusiones negativas que todo esto puede conllevar y que pueden plantear toma de decisiones al respecto.

Se trata, en definitiva, de aspectos fundamentales de la educación científica, a cuya comprensión puede contribuir la realización de la visita a un planetario, que permite relacionar la gravitación con la revolución científico-técnica del siglo XX y profundizar en el conocimiento de la evolución de las ideas científicas, porque

ayudan a mostrar una imagen de la ciencia en conexión con el mundo que nos rodea, con los avances científicos, con temas de actualidad, a ir aproximándonos al conocimiento de nuestros orígenes y, en definitiva, a contestar muchas de las preguntas que los seres humanos teníamos planteadas desde hace mucho tiempo, de una forma abierta, desprovista de mitos y supersticiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS TEMA 1

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

CARRASCOSA, J., SOLBES, J. y VILCHES, A. (2005). Tierra y cielos, ¿dos universos separados?, pp 243-269, en GIL, D. et al (Ed) *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?*, Santiago OREAL-UNESCO.

COMISION MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988). *Nuestro futuro común*. Madrid: Alianza.

FURIÓ, C. y VILCHES, A. (1997). Las actitudes de los estudiantes hacia las ciencias y las relaciones CTS, en DEL CARMEN (Coor). *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori, 47-71.

HERNÁNDEZ, J., PAYÁ, J., SOLBES, J. Y VILCHES, J. (1999) *Física y Química 4º de ESO*, València, Barcelona: Riialla-Octaedro.

HOLTON, G. y BRUSH, S. (1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Reverté: Barcelona.

HOLTON, G., RUTHERFORD, F. J. y WATSON, F. G. (1982). *Project Physics. Unit 2. Motion in the Heavens*. New York: Holt-Rinehart-Winston.

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

MASON, S. F. (1985). *Historia de las ciencias*, 5 Vol. Madrid: Alianza.

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

SAGAN, C. (1982). *Cosmos*. Barcelona: Planeta.

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

SOLBES, J. (2002). *Les emprems de la Ciència. Ciència, Tecnologia, Societat: Unes relacions controvertides*. Alzira: Germania.

SOLBES, J. y TARÍN, F. (1996). *Física 2º de Bachillerato*, Barcelona: Ed. Octaedro.

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