

1. NATURALEZA DE LA CIENCIA Y CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO. LA NATURALEZA DE LA CIENCIA COMO OBJETIVO DE ENSEÑANZA

CONTENIDO DE CAPÍTULO

- El concepto restringido y simplificador de *ciencia*
- La concepción inductivista
- La visión descontextualizada
- La visión acumulativa y de crecimiento lineal
- La concepción objetiva y verdadera del conocimiento científico
- Una ciencia neutra, sin ideología
- Una visión individualista y elitista
- Una propuesta de enseñanza

Ana Rivero

Universidad de Sevilla

Ana María Wamba

Universidad de Huelva

Empecemos por una obviedad: la ciencia tiene una importante presencia e importancia en nuestra vida cotidiana. En el siglo XXI ya nadie lo pone en duda. Está presente en acontecimientos y conversaciones, y es un elemento básico para nuestro desarrollo y bienestar. No es extraño, por ejemplo, que vayamos a comprar y la etiqueta de un determinado alimento nos informe de que se trata de un transgénico, que su calidad ha sido comprobada «científicamente» y que tengamos que tomar la decisión de si comprarlo o no. O que nos veamos involucrados en un debate sobre qué tipo de energía debemos priorizar en la situación actual —donde parece cada vez más claro que el petróleo no va a poder satisfacer por mucho tiempo las demandas de las sociedades desarrolladas—, si la nuclear o las llamadas *energías*

alternativas (solar, eólica, etc.). O que, yendo más allá, tengamos que valorar si queremos buscar energías para mantener el mundo desarrollado, tal como lo conocemos actualmente, o queremos cambiar el modelo de desarrollo de nuestro mundo.

La ciencia, por tanto, ha dejado de ser un asunto que compete exclusivamente a los especialistas para convertirse en patrimonio y responsabilidad de todos. El conocimiento científico debe ser en la actualidad parte esencial de la cultura personal, que permita a los ciudadanos interpretar la realidad con racionalidad y libertad, y disponer de argumentos para tomar decisiones (Castaño y otros, 2006). Para ello, es necesario conocer qué es la ciencia, cuáles son sus principales resultados y la metodología empleada, y además, cuáles son las consecuencias de sus descubrimientos y aplicaciones, a qué intereses sirven, qué proyecto humano subyace en ellas, por qué cauces deberían discurrir en el futuro y otras cuestiones vinculadas a las necesidades e intereses de los sistemas sociales y culturales. Como plantean Godin y Gingras (2004; citado en López Cerezo y Cámara, 2005, p. 35):

No podemos considerar científicamente culto a un individuo cuyo receptáculo cerebral reservado a la ciencia sólo albergue un inventario de datos, a modo de registro enciclopédico de preguntas y respuestas. Es necesaria la reflexión, la integración y la explotación crítica de esa información, formar juicios independientes sobre asuntos controvertidos relacionados con la ciencia, ser conscientes de los interrogantes éticos y desafíos ambientales que plantean las nuevas fronteras de la ciencia y tecnología, hacer frente con éxito a la superstición, etc.

Es decir, hay que formarse *en* ciencia y *sobre* la ciencia. Es imprescindible abordar aspectos epistemológicos, históricos, ideológicos, etc. en la formación científica. Son numerosos los contextos en los que se puede desarrollar una cultura científica de los ciudadanos del tipo que estamos defendiendo, pero es el ámbito educativo, sin lugar a dudas, el que no puede eludir este reto. Y no se trata de un reto sencillo. Partimos de cierto desinterés de los estudiantes por la ciencia, puesto de manifiesto en el descenso en el número de ellos que escogen en el bachillerato opciones científicas. Además, nos encontramos que, según la Segunda Encuesta Nacional sobre Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT, 2005), la mayor parte de los españoles valora negativamente la formación científica y tecnológica recibida en la escuela: sólo un 10% de las personas entrevistadas reconoce haber recibido en los centros de enseñanza un nivel de conocimientos científicos que califica de alto o muy alto, frente a un 65,5% que declara haber recibido una educación científica que califica de baja o muy baja.

De manera que el desarrollo de la cultura científica que necesitamos requiere de *cambios profundos en la enseñanza de las ciencias*, desde la educación infantil hasta la formación del profesorado, y en muy diferentes ámbitos, como intentan inferir los informes PISA. En nuestro caso, intentaremos aportar un grano de arena a uno de ellos, *el relacionado con la imagen de y sobre la ciencia que se fomenta en las escuelas* y la necesidad de complejizar

y actualizar dicha imagen. Somos conscientes de que abordamos un asunto complejo, pues no existe consenso entre los especialistas acerca de qué es ciencia y qué no lo es, y cómo se construye este conocimiento, lo que no desmerece el interés que puede tener para el profesorado conocer los debates y el desarrollo que se están produciendo en este campo.

Chalmers critica el hecho de que, para muchos:

(...) Las teorías científicas se derivan, de algún modo riguroso, de los hechos de la experiencia adquiridos mediante la observación y la experimentación. La ciencia se basa en lo que podemos ver, oír, tocar, etc. Las opiniones y preferencias personales y las imaginaciones especulativas no tienen cabida en la ciencia. La ciencia es objetiva. El conocimiento científico es un conocimiento fiable porque es conocimiento objetivamente probado. (Chalmers, 1994, p. 11)

Esta concepción de la ciencia, muy arraigada en la mente de gran parte de la población, ha sido cuestionada por autores como Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend o Morin. Este último expresa:

Es cierto que la misión casi vital de la ciencia hasta finales del siglo XIX fue eliminar lo incierto, lo indeterminado, lo impreciso, la complejidad, para poder controlar y dominar el mundo a través del pensamiento y por la acción. Ahora bien, esta ciencia no ha conducido a la clave determinista universal, sino a la problemática fundamental de la incertidumbre, de la indeterminación, de la imprecisión, de la complejidad. La ciencia nueva –scienza nuova– en gestación es aquella que trabaja, negocia con el alea, lo incierto, lo impreciso, lo indeterminado, lo complejo. (Morin, 1984, p. 127)

Muchos autores y numerosas investigaciones han puesto de manifiesto que la imagen sobre la ciencia que se fomenta en la escuela es ajena totalmente a estos debates. Predomina, en cambio, una visión unidimensional y coincidente con planteamientos propios del conocimiento común o cotidiano y bastante alejada de las aportaciones más actuales de la filosofía y la epistemología de la ciencia.

Como plantean Fernández y otros (2005), si se quiere cambiar lo que los profesores y los alumnos hacemos en las clases de ciencias, es preciso previamente modificar la epistemología de los profesores. Y aunque poseer concepciones válidas acerca de la ciencia no garantiza que el comportamiento docente sea coherente con dichas concepciones, constituye, al menos, un requisito indispensable.

En este capítulo vamos a presentar pues, las aportaciones que consideramos más relevantes para caracterizar la naturaleza del conocimiento científico, y dado que nos dirigimos a futuros profesores, lo haremos en relación a las concepciones más habituales que se transmiten en la escuela y que creemos imprescindible mejorar, siguiendo, en parte, las señaladas por Fernández y otros (2005).

El concepto restringido y simplificador de ciencia

Desde principios del siglo xx hemos tenido a nuestra disposición un concepto de ciencia conocido como *concepción heredada* (Hempel, 1973), según el cual la ciencia es un conocimiento teórico que se obtiene básicamente mediante el método científico hipotético-deductivo a partir de la experimentación (Izquierdo, 2000). De esta forma, es «el método» (en el que destaca el papel de la experimentación) el elemento que da estatus al conocimiento elaborado. Un ejemplo que ilustra esta afirmación es la declaración de Pearson:

La unidad de toda ciencia consiste sólo en su método, no en su contenido. El hombre que clasifica hechos, sean del tipo que sean, que observa su relación mutua y describe sus secuencias, está aplicando el método científico y es un hombre de ciencia. (Pearson, 1900, p. 12)

Esta idea, que todavía podemos detectar de manera explícita o implícita en numerosas situaciones educativas, ha ido cambiando profundamente a lo largo de los últimos cien años en el campo epistemológico, a partir de diversas aportaciones realizadas desde la sociología de la ciencia, la historia de la ciencia, el lenguaje, las ciencias de la comunicación y la propia epistemología. Por ejemplo, Sommerville (1941) ridiculizaba tal concepción de ciencia con su brillante ejemplo de la *Paraguología*, en el marco del cual llegó a enunciar varias leyes utilizando «el método científico»:

- Ley de Variación del Color según Propiedad por Sexo (los paraguas pertenecientes a mujeres tienden a ser de una gran variedad de colores, mientras que los pertenecientes a hombres son casi siempre negros).
- Leyes de la Propiedad Individual de una Pluralidad de Paraguas y de la Propiedad Plural de Paraguas Individuales (la interrelación se presenta, en la primera ley, en razón casi directa con el ingreso anual, y en el segundo, en una relación inversa casi perfecta con dicho ingreso).
- Ley de la Tendencia a la Adquisición de Paraguas en Tiempos Lluviosos.

Es evidente que la concepción heredada no es suficiente, pero no es fácil elaborar una concepción alternativa que satisfaga a todos. De hecho, es muy difícil, en cualquier foro en el que se intente, llegar a una definición consensuada de ciencia, entre otras cosas porque existen numerosas «ciencias». No poseen las mismas características la física (donde, por ejemplo, el uso de modelos formales y muy abstractos tiene gran significado), que la paleontología (de marcado carácter descriptivo), o la ecología (donde el objeto de estudio se refiere a varios niveles de organización de la materia y a una gran variedad de propiedades emergentes y donde es tan relevante el estudio de las partes –análisis– como la comprensión del todo –síntesis–), por no referirnos a las tecnologías, a las ciencias sociales o al conjunto de nuevas ciencias que están surgiendo como integración de otras previas (ciencias ambientales, de la salud, etc.).

En efecto, como señalan Castaño y otros (2006), son numerosas las definiciones que podemos encontrar, algunas caracterizadas por su amplitud, otras mucho más restringidas. Al primer grupo pertenecen, entre otras, la propuesta por Collinwood (2007) (ciencia es cualquier conocimiento sistemático de la realidad), en la que tienen perfecta cabida tanto las ciencias formales (matemáticas y lógica) y naturales (física, química, biología...), como las sociales (economía, sociología, antropología, historia...), y las denominadas por Dilthey (1986) *ciencias del espíritu* (filosofía, arte...).

En el segundo grupo, de carácter más restrictivo, se encuentra la definición propuesta por la UNESCO en 1999:

El término ciencia ha pasado a referirse a las ciencias naturales, en el sentido anglosajón, e incluye las matemáticas, la física, la astronomía y cosmología, la química, la biología, las ciencias de la tierra y el medio ambiente. Se incluye también la medicina por el estrecho contacto entre la ciencia contemporánea y la medicina. Las disciplinas tecnológicas también dependen sustancialmente de las ciencias naturales. Además de sus procedimientos específicos utilizan conocimientos científicos para alcanzar sus objetivos. (UNESCO, 1999)

Pero, además de preguntarnos acerca de los tipos de saberes que se incluyen o no en la ciencia, nos interesa profundizar en las características de este tipo de conocimiento. A este respecto, Izquierdo (2000) recoge las aportaciones de Giere (1988), según el cual las teorías científicas deben tener significado en el mundo. Es decir, lo fundamental de las teorías científicas no es su estructura formal, sino que permitan interpretar conjuntos de fenómenos, de modo que siempre tengan una dimensión práctica y nunca sean meros formulismos. Ziman (1986) nos amplía la perspectiva, llamando nuestra atención acerca de que la ciencia posee *múltiples dimensiones*. Por un lado, es un conjunto de conocimientos organizados fruto de la investigación, pero además, presenta una dimensión social: es una institución que necesita medios materiales y un factor importante en materia de asuntos humanos, pues puede resolver problemas y proporcionar beneficios materiales, estableciendo conexiones instrumentales con la tecnología (igual que para otros muchos autores, ciencia y tecnología aparecen como un todo, dando lugar a la llamada *tecnociencia*). Por último, es también un tema educacional. La ciencia es algo más que pensamiento e ideas, es una actividad y una construcción social y, como tal, resulta compleja, determinada por la sociedad en la que se desarrolla y difícil de describir (Izquierdo, 2000; Jiménez-Aleixandre y Otero, 1990).

Echeverría (2002) ha centrado también su análisis en la práctica científica, más que en el conocimiento científico o tecnocientífico en sí mismo, aportando un punto de vista muy interesante. Manifiesta que la ciencia no es sólo investigación, sino que, además de ser enseñada, difundida y comunicada, ha de ser evaluada. En este último contexto de evaluación es donde se sitúa lo que el autor denomina *axiología de la ciencia*. Para él, si queremos com-

prender la ciencia ya no es suficiente la epistemología, necesitamos además la axiología, es decir, el sistema de valores que justifica las actuaciones en el ámbito científico.

En definitiva, planteamos que es necesario modificar la *visión tan restringida* que a veces transmitimos de la ciencia como aquel conocimiento de carácter *teórico* que se elabora utilizando «el» *método científico* de carácter *experimental*, para tener en cuenta, al menos: las relaciones indisolubles entre ciencia y tecnología y la dimensión práctica de los modelos teóricos, la diversidad y complejidad de las prácticas científicas y, por tanto, de los métodos utilizados, las relaciones entre la ciencia y los contextos e instituciones sociales en que se elabora y aplica, y el sistema de valores en el que se inserta la actividad científica.

La concepción inductivista

La ciencia nació bajo la premisa de que el universo está regido por leyes universales que se pueden encontrar y formular. Así como los antiguos filósofos (entre los que debemos destacar a Aristóteles) intentaron conocer el mundo mediante su pensamiento racional, Bacon, al que seguramente podemos considerar el primer filósofo que teorizó sobre la ciencia experimental, puso el énfasis en la necesidad de observar la naturaleza como forma de acceder a las leyes que la gobiernan. Este énfasis en la observación, como contraposición a la posición anterior, condujo a la visión positivista del conocimiento y del método científico, basado en el razonamiento inductivo.

Según el inductivismo, es la *observación sistemática* y desapasionada de los fenómenos de la realidad lo que permite acceder al conocimiento. A partir de esta observación se generan enunciados observacionales que constituyen la base para formular las leyes, principios y teorías que articulan el conocimiento científico. Para ello es necesario disponer de un número de observaciones suficientemente grande y que hayan sido realizadas en una amplia variedad de condiciones.

Aunque las visiones inductivistas sobre la ciencia han sido abandonadas por los especialistas, es seguramente esta perspectiva la que con mayor frecuencia nos podemos encontrar en situaciones escolares, tanto en el pensamiento del profesorado, como en el del alumnado, e incluso en los mismos libros de texto. Por ejemplo, no es extraño encontrar en un libro de texto simplificaciones reduccionistas que presenten el trabajo científico como siguiendo un método único, cerrado, específico para las ciencias de la naturaleza, objetivo y exacto, basado en la observación, la formulación de hipótesis, la experimentación y la extracción de conclusiones, y que «permiten a los científicos ir descubriendo los secretos de la naturaleza» (AA.VV., 2000, p. 9).

Sin embargo, el inductivismo contiene numerosas limitaciones. La primera de ellas, relacionada con el número de observaciones que podemos considerar suficientes, la pone en evidencia Bertrand Russell, según cita Chalmers:

Este pavo descubrió que, en su primera mañana en la granja avícola comía a las 9 de la mañana. Sin embargo, siendo como era un buen inductivista, no sacó conclusiones precipitadas. Esperó hasta que hubo recogido una gran cantidad de observaciones del hecho de que comía a las 9 de la mañana e hizo estas observaciones en una gran variedad de circunstancias, en miércoles y en jueves, en días fríos y calurosos, en días lluviosos y soleados. Cada día añadía un nuevo enunciado observacional a su lista. Por último, su conciencia inductivista se sintió satisfecha y efectuó una inferencia inductiva para concluir: siempre como a las 9 de la mañana. Pero ¡ay! Se demostró de manera indudable que esta conclusión era falsa cuando, la víspera de Navidad, en vez de darle la comida le cortaron el cuello. (Chalmers, 1994, pp. 28-29)

La segunda es la presunción de que la observación puede ser imparcial e independiente del observador, de sus teorías, intereses, experiencias previas, estados de ánimo, etc. Pero la historia de la ciencia nos muestra numerosos ejemplos de que esto no es así. Veamos sólo uno de ellos, el que nos relata Hecht (1987) en relación con el descubrimiento de Neptuno: John Couch Adams y Rubain Leverrier predijeron, por separado, la localización de Neptuno a mediados del siglo XIX. Previamente, James Challis, director del observatorio de Cambridge, que tenía a su disposición las predicciones de Adams, rechazó la existencia de este planeta y aunque sus registros y anotaciones de las observaciones que realizó durante todo el verano demostraban que «vio» cuatro veces a Neptuno e incluso percibió su disco aparente, hizo caso omiso de lo que había visto.

Y la tercera, es la propia concepción de que lo que observamos es exactamente la realidad. Así, Richard Gregory (R.G.), profesor emérito de Neuropsicología de la Universidad de Bristol, nos señala en esta conversación con Eduard Punset (E.P.) (2004) que, a veces, nuestras percepciones nos engañan:

E.P.: —No sé si existe algo más importante que tener una percepción correcta del mundo en que se vive. Y sin embargo, invertimos una ridiculez (...) en investigar si es correcta la imagen que tenemos de los objetos que nos rodean, y sobre todo, de cómo la obtenemos. ¿A ti qué te parece?

R.G.: —Creo que es completamente cierto. El cerebro efectúa muchas suposiciones y obtiene pequeñas imágenes de los ojos, pero eso no basta. El problema radica en que las imágenes que recibe el ojo no se corresponden en absoluto con los objetos que está mirando; no son idénticos. Por ejemplo, si miramos una mesa intuimos que es sólida y fuerte, y que podemos poner cosas encima; pero el cerebro tiene que adivinar que se trata de una mesa sólida y fuerte. El cerebro imagina un objeto real a partir de una imagen del ojo tan pequeña como un sello de correos. Me parece increíble que podamos pasar de una pequeña imagen al sentido de la realidad del mundo. Y, por supuesto, no siempre sale bien. (pp. 458-459)

(...)

E.P.: —En cierto modo, pues, cuando obtenemos imágenes de los objetos del exterior, el cerebro elabora una hipótesis sobre qué es ese objeto y entonces se pone a prueba, contrastándola con los sentidos, ¿verdad?

R.G.: —Sí, yo creo que la percepción es una hipótesis. El problema es que la percepción debe trabajar de forma muy rápida, en una décima de segundo, por lo que la comprobación no es muy exhaustiva. (Punset, 2004, p. 465)

Por todo ello, en contraposición a los enfoques empiro-inductivistas, se ha desarrollado lo que se ha venido a llamar *nueva filosofía de la ciencia*. En ella, se debe mencionar como uno de sus primeros exponentes a Karl Popper (1934, 1963), que defiende que toda observación se hace desde el marco de alguna teoría. Así, se supone que la ciencia no está centrada en elaborar inferencias teóricas metodológicamente correctas, sino en construir libremente hipótesis provisionales en relación a los problemas planteados para, posteriormente, someterlas a un riguroso proceso de falsación o refutación mediante procedimientos experimentales (Porlán, 1995). El conocimiento científico se caracterizaría, pues, por la posibilidad de ser falsado mediante el experimento o la observación, y sólo las afirmaciones falsables deben ser admitidas como científicas. Por ejemplo, no es científica la afirmación «los ángeles no tienen sexo», pues es una hipótesis que no se puede contrastar. A pesar de la indudable aportación que supuso el falsacionismo popperiano a la filosofía de la ciencia, sus propuestas fueron también cuestionadas posteriormente. Por ejemplo, Chalmers decía:

Las teorías no se pueden falsar de modo concluyente, porque los enunciados observacionales que sirven de base a la falsación pueden resultar falsos a la luz de posteriores progresos. (Chalmers, 1994, p. 93)

Como nos hace notar este autor, Popper cayó en la trampa de utilizar nuevamente la observación y la experimentación como base fundamental para la aceptación o no de las teorías científicas, cuestión que se había criticado duramente en el positivismo previo.

Quizás el autor más importante que hizo tambalearse en primer lugar a la perspectiva de Popper, fue Thomas Kuhn. Este autor publicó en 1962 su polémica obra *The Structure of Scientific Revolutions* que, valga la redundancia, revolucionó la filosofía tradicional de las ciencias. Kuhn aporta el concepto de *paradigma*, que concibe como un conjunto de *creencias, valores y técnicas compartidos por una comunidad científica* (Campanario, 2002), de manera que la ciencia se caracterizaría más por los paradigmas de la comunidad científica que por su unidad metodológica (Porlán, 1995). Es, por tanto, la primera vez que claramente se cuestiona la observación y la experimentación como mecanismos comunes y básicos de la producción científica.

También Lakatos (1978) pone en entredicho las propuestas de Popper, argumentando que las teorías científicas no se someten a falsación, sino que se protegen de ella. Para este autor, las

teorías se articulan en forma de *programas de investigación*, que constan de un conjunto de hipótesis generales (núcleo central, que no se cuestiona) y unas hipótesis auxiliares, supuestos subyacentes y enunciados observacionales (cinturón protector), que pueden modificarse, pero sin alterar lo esencial.

Pero, sin duda, la perspectiva más contrapuesta al inductivismo es claramente la de Feyerabend (1975). Según este autor, si *analizamos históricamente* la producción del llamado *conocimiento científico*, nos damos cuenta de que existe una gran diversidad de enfoques, métodos y estrategias en las distintas investigaciones. Feyerabend asegura que los científicos eligen sus estrategias dependiendo de los objetivos de su trabajo, de manera que es imposible establecer reglas de validez universal. Podemos resumir su posición con su frase más conocida: *todo vale*, exponente de lo que él mismo denomina *anarquismo metodológico*.

En definitiva, no hay una única opción que cuente con el consenso de filósofos y epistemólogos acerca de cómo se produce el conocimiento científico, sino que se reconoce la existencia de diversos enfoques y estrategias. Quizás el papel de los *problemas como motor de la investigación* sea el único aspecto que goce de mayor aceptación entre las distintas tendencias, pero la importancia de la observación, la experimentación, las hipótesis, el diseño de experiencias, las teorías previas, la deducción lógica, la creatividad, la invención, la comunicación de las investigaciones y sus resultados, etc., es un asunto más controvertido.

La visión descontextualizada

Con frecuencia nos referimos a contenidos científicos sin establecer ninguna relación con el contexto en el que fueron elaborados: los problemas a los que se intentaba responder, los medios técnicos de los que se disponía, las preocupaciones de la época, etc. A veces lo hacemos así porque creemos que la ciencia es independiente del medio en el que se desarrolla.

Cuando esto ocurre en el ámbito educativo, provoca que los *contenidos aparezcan como arbitrarios* y, por tanto, con muy poco sentido para los estudiantes. En efecto, a los estudiantes les puede ocurrir algo parecido a lo que les ocurrió a las respectivas comunidades científicas de la época cuando Newton, Wegener o Mendel expusieron sus teorías. Fue necesario que transcurrieran siete u ocho décadas para que se aceptara la teoría de Newton sobre la gravitación universal, o medio siglo para que se admitiese la teoría de Wegener de la deriva continental, o más de treinta años hasta que se redescubrieron las leyes de Mendel sobre la herencia.

La resistencia a la introducción de estas teorías novedosas, en el caso de Mendel, por ejemplo, tuvo mucho que ver con el hecho de que sus investigaciones no respondían a problemas relevantes de su época. Giordan y De Vecchi (1988) explican que entonces se buscaba cómo se transmitían los caracteres de la especie con el fin de encontrar pruebas de la teoría de la evolución, y no los individuales. Mendel, relatan los autores citados, mantuvo una correspondencia abundante y continuada, desde 1866 a 1873, con una autoridad científica de su tiempo, el profesor Nageli de Viena, y no llegó a convencerlo, a pesar de que utilizó numerosos argumentos y pruebas. Así que Nageli ha quedado para la posteridad como el gran biólogo que no pudo comprender el mendelismo, aunque tuviera el inestimable privilegio de que se lo explicara Mendel en persona.

Pero la visión descontextualizada no provoca sólo problemas didácticos de falta de relevancia o sentido del contenido, sino *problemas* relacionados con la *propia disciplina*, pues fomenta la imagen de que la ciencia elabora los conocimientos de una vez tal como lo conocemos actualmente, sin reconocer su carácter progresivo y tentativo. Por ejemplo, aunque hoy parece evidente el mecanismo de la fecundación (la unión de un óvulo y de un espermatozoide dan lugar a la formación de un cigoto), pasaron 200 años entre el descubrimiento del espermatozoide y la comprensión de su papel en la fecundación (Giordan y De Vecchi, 1988).

En definitiva, es necesario adoptar una *visión más contextualizada* de la ciencia, que nos permita comprender mejor cómo se ha elaborado el conocimiento, en respuesta a qué problemas, enfrentándose a qué dificultades, etc., y también, por supuesto, que nos permita reconocer las limitaciones del conocimiento científico actual y las perspectivas futuras. Y, por último, comprender a nuestros estudiantes y sus dificultades.

La visión acumulativa y de crecimiento lineal

Ésta es otra visión bastante presente en el ámbito educativo. Se trata de presentar o fomentar la idea de que el conocimiento científico crece por acumulación sucesiva de nuevas teorías, sin tener en cuenta los *complejos procesos de cambio* que han tenido lugar en el desarrollo del conocimiento científico (Estany, 1990).

Pero ¿cómo cambia el conocimiento científico? Según Kuhn (1962), el desarrollo de una disciplina dada se caracteriza por períodos de ciencia normal y períodos de revolución científica. Durante los primeros, los científicos resuelven problemas en sus respectivas áreas mejorando la articulación y coherencia interna del paradigma. En estos casos, pueden predominar los cambios de tipo acumulativo. Pero, a veces, no es posible resolver algunos problemas dentro del paradigma dominante, lo que da lugar a anomalías o datos que no encajan. Por ejemplo, es una anomalía para la teoría del Big Bang sobre el origen del universo,

el dato publicado con carácter divulgativo por Cayetano López en *El País* (López, 1994), acerca de que el uso de mediciones nuevas de la constante de Hubble sugiere la hipótesis de que el universo tiene entre 7.000 y 11.000 millones de años, demasiado pocos para la teoría establecida. Pues bien, si estas anomalías se acumulan y llegan a afectar a los aspectos fundamentales del paradigma, surge un período de crisis. Si, además, en este proceso se gesta progresivamente un paradigma rival, es decir, otro punto de vista general alternativo al existente, se da una revolución científica.

En los períodos revolucionarios, el paradigma preexistente es sustituido por un nuevo paradigma. Es preciso llamar la atención acerca de que *esta sustitución es algo más que un mero cambio de teoría*, ya que se remueven los principios más profundos; cambian las estrategias de investigación y en definitiva, cambia la cosmovisión que predominara hasta ese momento. Pensemos, por ejemplo, en la revolución que supuso para la biología la presentación de la teoría de la evolución de Charles Darwin, que modificó la perspectiva global fijista sobre el mundo que predominaba hasta entonces, por un punto de vista de cambio y evolución. El alcance de este cambio conduce, según Kuhn, a que esos paradigmas sean inconmesurables. Además, y este es quizás el aspecto más discutido del punto de vista de este autor, afirma que el cambio de paradigma ocurre sin tener en cuenta criterios racionales, es decir, sin que haya argumentos lógico-formales que demuestren la superioridad de un paradigma sobre otro, sino gracias a factores tales como la desaparición de los científicos con prestigio y poder académico que sostenían las teorías vigentes, o la capacidad de persuasión de los proponentes del nuevo paradigma. Es posible pues que, según la perspectiva de Kuhn, la teoría del Big Bang siga vigente aún porque no existe un paradigma rival, pues desde luego acumula cierto número de anomalías, entre otras la que acabamos de citar.

Por su parte, Lakatos, como ya señalamos en el apartado anterior, explica que los programas de investigación *se resisten al cambio*. Ahora queremos añadir que eso no significa que Lakatos no admita que el cambio realmente se produce, pero sólo si se cumplen tres criterios:

1. La nueva teoría debe explicar todo lo que explicaba la teoría anterior.
2. La nueva teoría debe tener un exceso de contenido empírico con respecto a la teoría anterior, es decir, la nueva teoría debe predecir hechos nuevos que la teoría anterior no predecía.
3. La nueva teoría debe ser capaz de orientar a los científicos para que puedan comprobar empíricamente una parte al menos del nuevo contenido que ha sido capaz de predecir (Campanario, 2002).

En términos de Lakatos, explicaríamos que la teoría del Big Bang sigue vigente porque no existe otro programa de investigación que explique lo mismo que el Big Bang, que prediga hechos nuevos que ésta no puede (quizás, por ejemplo, si el universo se va a contraer o continuará expandiéndose) y que oriente el trabajo científico en otra dirección más productiva.

Nos parece muy relevante, por último, la propuesta de Toulmin (1977) acerca de cómo cambia el conocimiento. Para este autor, en cualquier momento hay suficiente cantidad de personas creativas que mantienen un conjunto de innovaciones que entran en competencia intelectual con otras ya establecidas. Algunas variantes resultarán elegidas y se incorporarán al acervo de conocimientos, y otras serán olvidadas (Porlán, 1995). En este punto, Toulmin discrepa de Kuhn, pues, para el primero, en la elección de unos conocimientos u otros sí se pueden detectar criterios racionales, con el fin de encontrar las mejores soluciones a los problemas teóricos o prácticos de cada población conceptual. Es decir, el desarrollo de una disciplina tendría su origen en problemas no resueltos que plantean unas exigencias intelectuales o prácticas no satisfechas. La aparición de nuevos conceptos por procesos de selección es ejercido por la propia comunidad científica afectada, en aras de un mejor servicio a la disciplina en cuestión (Campanario, 2002).

Según la perspectiva de Toulmin, los cambios pueden ser rápidos o lentos, de mayor o de menor calado, pero siempre son parciales y sometidos a la selección crítica de la comunidad intelectual. Se trata, por tanto, de una perspectiva gradualista respecto al cambio de las teorías científicas.

En cualquier caso, utilizando la perspectiva de Toulmin, parece que no disponemos de suficientes variantes entre las que seleccionar una teoría mejor que la que tenemos para explicar el origen del universo, aunque es muy probable que estas teorías cambien y no será simplemente un cambio lineal y acumulativo.

La concepción objetiva y verdadera del conocimiento científico

En coherencia con creencias expuestas anteriormente, nos encontramos esta otra, de importante presencia en el ámbito educativo: el conocimiento científico es objetivo y verdadero. Efectivamente, si el conocimiento científico es el que se elabora siguiendo detalladamente los pasos de «el» método científico, en el que predominan la observación «pura» y la experimentación, el resultado debe ser objetivo y verdadero.

Pero, como hemos visto en el apartado «La concepción inductivista», la observación no es siempre independiente del observador. De hecho, es posible que la observación altere incluso el hecho observado, como establece el Principio de Incertidumbre propuesto en 1927 por Heisenberg o como defiende la Escuela de Copenhague, con Bohr al frente:

Las entidades subatómicas, como por ejemplo los electrones, no poseen existencia real; existen en un limbo probabilístico de muchos estados superpuestos posibles hasta que se ven forzados a un estado único por el acto de la observación. Los electrones o fotones pueden hacer de ondas o partículas, según la manera como se observen experimentalmente. (Citado por Horgan, 1998, p. 111)

Por otro lado, como hemos visto en el apartado «La visión acumulativa y de crecimiento lineal», no podemos tener seguridad de que no aparezcan nuevos datos o interpretaciones que modifiquen lo que el conocimiento científico ha dado por válido en una época determinada, por tanto, es difícil considerarlo *verdadero*. Por ejemplo, ¿es verdadero que el sistema solar está compuesto por ocho planetas? ¿O era verdad cuando estaba establecido –hace casi nada– que eran nueve los planetas del Sistema Solar? Además, ¿puede considerarse «verdadero» algo en un mundo caótico, como el nuestro? Formamos parte de un universo complejo, conformado por numerosos sistemas también complejos, con diferentes niveles de organización imbricados entre sí y, según la teoría del caos:

Aquellos sistemas dinámicos que puedan ser descritos por ecuaciones cuyas variables se encuentran en una relación no lineal atraviesan durante su evolución por fases de comportamiento caótico impredecible debido a la sensibilidad que poseen en las condiciones iniciales. (Luffiego y otros, 1994, p. 94)

De manera que, como plantea Ballenilla (2003), vivimos en un *universo no predecible* no sólo por su magnitud, como defendía Laplace, sino porque ello es una característica intrínseca a un universo complejo.

Lo dicho anteriormente puede hacernos sentir un poco de vértigo: ¿No disponemos entonces de ninguna certeza en el ámbito científico (y, por ende, muchas menos en el ámbito cotidiano)? ¿Es todo relativo, como defendía Feyerabend? Recuperemos de nuevo la conversación de Punset y Gregory:

E.P.: —Sostienes que el cerebro no existe para hallar la verdad, sino para sobrevivir.

R.G.: —Sí. Las sociedades necesitan un *acuerdo* para trabajar colectivamente en la construcción de una casa o en la fabricación de utensilios de cocina. Se necesitan ideas preconcebidas para sobrevivir, creencias sociales que nos permitan llegar a una acción coordinada y pactada. Pero nada de eso guarda relación con la *verdad absoluta*. (Punset, 2004, pp. 469-470)

De manera que quizá no disponemos de verdades absolutas, pero sí de *acuerdos válidos*. Recordemos ahora a Toulmin, cuya aportación se sitúa justo en el centro de la polémica epistemológica entre absolutistas y relativistas. Este autor explicaba que, entre la variedad de ideas presentes en una población determinada, la comunidad implicada era la encargada de seleccionar las que consideraba más adecuadas. Estos acuerdos de la comunidad son los que otorgan validez al conocimiento.

El conocimiento científico aceptado actualmente es relevante, sea o no verdadero, porque ha conseguido poner de acuerdo a distintas subjetividades (conocimiento intersubjetivo) acerca de cuál es la mejor interpretación para explicar un fenómeno determinado (hasta que la propia comunidad cambie de opinión). Efectivamente, la actividad científica suele desarrollar determinadas prácticas donde acrisolar estos consensos, tales como la publicación de los resultados de las investigaciones en revistas y su presentación en congresos. Y, como según

Hecht (1987), es casi tan divertido desprestigiar una teoría como desarrollarla, los errores no suelen pasar inadvertidos ni se pierde la oportunidad de confrontar unas opiniones con otras.

Una ciencia neutra, sin ideología

A menudo se entiende la ciencia como una actividad neutra, que no está influida por la sociedad en la que se desarrolla, ni por intereses particulares, y cuyo máximo objetivo es la búsqueda de «la verdad». Sin embargo, existen ejemplos que ponen de manifiesto una visión diferente, en la que los criterios que guían la investigación están sesgados por estereotipos o arquetipos sociales.

Por ejemplo, según relatan Jiménez-Aleixandre y Otero (1990), durante la primera mitad del siglo xx se consideraba que el número de cromosomas de la especie humana era de 48, puesto que se identificaban 24 diferentes y se suponía que cada uno debía tener su homólogo. La detección de 24 cromosomas diferentes no era un error. Provenía del hecho que las muestras (tomadas por equipos diferentes en lugares distintos) se tomaban únicamente en hombres, nunca en mujeres, bajo el supuesto implícito de que el varón era el arquetipo. Hubo que superar este prejuicio para llegar a los actuales 23 pares de cromosomas homólogos, que son así en las mujeres (donde los cromosomas sexuales son XX) y no exactamente en los hombres, que poseen 22 pares más los sexuales (XY), aunque considerados también un par homólogo.

En el momento que aceptamos que la ciencia es una *actividad humana* (y, por tanto, sometida a condicionantes) y una *construcción social* (y, por tanto, determinada por la sociedad en la que se desarrolla), tenemos que aceptar que es difícil que exista neutralidad en el desarrollo de la ciencia y que dicha neutralidad quizás no sea más que un mito (Quintanilla, 1978). Además, hay que tener en cuenta que, aunque no fuese la comunidad científica misma la que realizara los estudios o interpretara los resultados desde un punto de vista interesado, no es posible evitar que otros agentes sociales lo hagan. Por ejemplo, la bomba atómica no se podría haber construido sin conocimiento científico y tecnológico. De manera que seguramente es mucho mejor reconocer la influencia ideológica en la actividad científica que mirar hacia otro lado, pues sólo así estaremos en disposición de intentar controlarla. Una visión neutral de la ciencia nos impide valorar la influencia de los intereses particulares o generales en las investigaciones o las posibles consecuencias y repercusiones de los hallazgos científicos.

Para Quintanilla, esta *valoración* no es asunto exclusivo de los investigadores, quienes actualmente son trabajadores asalariados, insertos en el proceso productivo y, por tanto, sujetos a presiones sociales. Por el contrario, la *responsabilidad moral y política del científico y del técnico* en la actualidad tiene que ver con una toma de conciencia colectiva y política sobre el carácter de la ciencia y de los científicos en el conjunto de la sociedad. Por eso es también tan importante abordar este reduccionismo en la educación.

Una visión individualista y elitista

Otro aspecto importante que debemos considerar es cómo los conocimientos científicos aparecen a veces en los medios de comunicación, y también en nuestras aulas, como obra de genios aislados, ignorándose *el papel del trabajo colectivo y de los intercambios entre equipos*.

Esta visión conduce a creer que los resultados obtenidos por un solo investigador o equipo pueden bastar para introducir una nueva teoría en el acervo científico, coincidiendo con la imagen de crecimiento lineal y acumulativo del conocimiento científico, que ya hemos discutido en otro apartado. A la vez, se ignoran los numerosos ejemplos que nos muestran la necesidad de realizar intercambios de datos e ideas para que las teorías se hagan más potentes y sean aceptadas ampliamente por la comunidad científica.

Por ejemplo, en el siglo XVIII, los científicos, y entre ellos el gran químico francés Lavoisier, creían que el calor era un fluido ingrávido que llamaban *calórico*. Al poner en contacto un objeto caliente con otro frío, el calórico fluía desde el primero al segundo y ese flujo hacía que el objeto caliente se enfriara y que el frío se calentara. Rumford, sin embargo, estaba convencido de que el calor no era un fluido, sino una forma de movimiento (el calor provenía de pequeñísimos y rápidos movimientos de las partículas) y así lo defendió, pero el trabajo de Rumford quedó ignorado durante los cincuenta años siguientes, pues los científicos de la época se negaban a aceptar la idea de diminutas partículas que experimentaban un movimiento rápido y que nadie podía ver. Los estudios de Rumford no fueron valorados hasta que Maxwell formuló la teoría cinética de los gases, en la que propone que la temperatura de una sustancia aumenta al incrementarse la energía cinética de sus partículas por la absorción de calor. Pero para que Maxwell formulara su teoría y ésta fuese aceptada fueron imprescindibles los trabajos del matemático Bernouilli y sus estudios sobre los movimientos aleatorios de partículas en los gases junto con los realizados posteriormente por Dalton y su teoría atómica.

Por último, no queremos dejar de aludir al estereotipo también extendido de que el trabajo científico es desarrollado por hombres especialmente inteligentes. Esta imagen elitista y sesgada respecto del género deja fuera de la ciencia a las mujeres (a pesar de las importantes aportaciones realizadas por muchas de ellas, como Madame Curie, Lynn Margulis, Margarita Salas, etc.) y a las confusiones científicas, así como a las numerosas investigaciones que han conducido a callejones sin salida.

Si esta imagen se fomenta en el ámbito educativo, es fácil que desanime a los estudiantes a involucrarse en la ciencia y que conlleve ciertas *discriminaciones en función del sexo*. Pero, además, favorecerá una imagen reduccionista de la ciencia, como acabamos de ver. Es, pues, otra imagen que cabrá complejizar.

Una propuesta de enseñanza

Las visiones de la ciencia que hemos analizado caracterizan, en su conjunto, una imagen global y con cierta coherencia de la ciencia, que diversos estudios muestran como bastante presente en el ámbito educativo. Como decíamos en la introducción, es necesario modificar dicha perspectiva sobre la ciencia, que consideramos reduccionista y simplificadora. Es una perspectiva insuficiente para dotar a las personas de la cultura científica que necesitamos en nuestro mundo de hoy.

A lo largo del capítulo hemos intentado presentar argumentos que nos permitan poner en cuestión ciertas visiones que, a veces, nos parecen tan obvias, tan «de sentido común», que no se nos ocurre cuestionarlas. Pero nuestro interés ha sido animar a todos los futuros profesores y profesoras a lo contrario: a que cuestionen, a que duden, a que reflexionen, a que ensayen, a que sean creativos, a que contrasten sus opiniones con otras... y a que animen a sus estudiantes a hacer lo mismo.

Para ello, hacemos una propuesta didáctica abierta (cuadro 1) que pretende facilitar el debate sobre la naturaleza de la ciencia en el aula de educación secundaria obligatoria. En ella incluimos:

- Contenidos que consideramos relevantes incluir en este ámbito, así como los obstáculos que pueden aparecer en el pensamiento de los estudiantes en relación con cada uno de ellos.
- Ejemplos de problemas (o preguntas o cuestiones) que pueden organizar el tratamiento de cada uno de los contenidos propuestos. Estas preguntas deben ser relevantes para el tratamiento de la materia y, a la vez, interesantes y con sentido para los estudiantes.
- Fuentes de información diversas que pueden aportar perspectivas de interés para fomentar el debate.

Cuadro 1. Consideraciones didácticas para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia en el aula

| CONTENIDOS/ OBSTÁCULOS | PREGUNTAS/PROBLEMAS/CUESTIONES ORIENTATIVAS | POSIBLES FUENTES DE INFORMACIÓN |
|--|--|--|
| El conocimiento científico. Obstáculos: <ul style="list-style-type: none"> • Visión restringida y estatus superior del conocimiento científico (objetividad y veracidad). • Confusión entre ciencia y pseudociencia. | <p>¿La ciencia es cultura?</p> <p>¿La astrología es una ciencia?</p> <p>¿Puede avanzar la ciencia sin la tecnología? ¿Y la tecnología sin la ciencia?</p> <p>¿Han tenido la ciencia y la tecnología algo que ver con el cambio de los estilos de vida desde el de nuestros padres al nuestro?</p> <p>¿La ciencia es la solución a todos los problemas medioambientales actuales?</p> <p>¿Es cierto todo lo «científicamente comprobado»?</p> | <p>Textos especializados y divulgativos.</p> <p>Noticias de prensa.</p> <p>Anuncios de productos de consumo.</p> |

| | | |
|---|---|--|
| <p>¿Cómo se construye el conocimiento científico?</p> <p>Obstáculo: visión inductiva, individualista y elitista.</p> | <p>¿Cómo es el lugar de trabajo de un físico teórico, el de un microbiólogo y el de un ecólogo?</p> <p>¿Utilizó Einstein el «método científico» para desarrollar la teoría de la relatividad?</p> <p>¿Qué papel tuvieron el azar, la observación, la formulación de preguntas, el conocimiento previo, la creatividad, la experimentación y la comunicación en la formulación de la teoría de la gravitación universal?</p> <p>¿Tienen los hombres y las mujeres los mismos condicionantes sociales y familiares para ser buenos investigadores?</p> <p>¿Qué han aportado las mujeres a la ciencia?</p> <p>¿Es importante para un investigador comunicar y compartir sus ideas e inquietudes con otros investigadores? ¿Por qué o para qué?</p> | <p>Textos especializados y divulgativos.</p> <p>Textos históricos en los que se relate una investigación.</p> <p>Textos autobiográficos sobre científicos, correspondencia entre científicos, notas de laboratorio, etc.</p> <p>Libros de texto.</p> <p>Biografías de mujeres científicas.</p> <p>Centros de investigación (laboratorios, universidades, etc.)</p> |
| <p>¿Cómo cambia el conocimiento científico?</p> <p>Obstáculo: visión acumulativa y lineal.</p> | <p>Cuando los científicos presentan una teoría nueva ¿está relacionada de alguna manera con teorías anteriores sobre la misma problemática? ¿Ocurre siempre igual?</p> <p>¿Son frecuentes los cambios en el conocimiento científico?</p> <p>¿Qué cambios pueden ocurrir próximamente en el conocimiento científico?</p> | <p>Textos especializados y divulgativos.</p> <p>Libros de texto.</p> |
| <p>Relación ciencia-sociedad.</p> <p>Obstáculo: descontextualización</p> | <p>¿Por qué fueron ignorados durante tanto tiempo los mecanismos de la herencia propuestos por Mendel?</p> <p>¿Por qué Darwin retrasó la presentación pública de su teoría de la evolución por selección natural?</p> <p>¿Por qué tanto empeño en ser los primeros en identificar el genoma humano?</p> | <p>Textos especializados y divulgativos. Textos históricos y autobiográficos sobre científicos.</p> <p>Noticias de prensa.</p> |
| <p>Relación ciencia-ideología.</p> <p>Obstáculo: neutralidad.</p> | <p>¿Contribuye la ciencia a la opresión o a la liberación de la humanidad?</p> <p>¿En qué tipo de investigaciones se gastan nuestros impuestos en mayor proporción y en cuáles se deberían gastar?</p> <p>¿Por qué tanta prisa por conocer el origen del SIDA y tanto retraso en resolver la malaria? ¿Por qué son tan altos los presupuestos dedicados a la investigación armamentística y tan escasos los que contribuyen a alcanzar la paz?</p> <p>¿Por qué se cuestiona la investigación sobre las células madres?</p> | <p>Noticias en prensa relacionadas con explotación de recursos naturales, con armamento, nuevos descubrimientos.</p> <p>Extractos de novelas.</p> <p>Informes sobre reparto presupuestario de los gobiernos.</p> |

Se pueden encontrar otras propuestas didácticas en artículos y monografías sobre la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (Solomon, 1992; Caamaño, 1996; Marco, 1996; Pedrinaci, 1996; Burden, Hunt y Millar, 2006).

ACTIVIDADES

Actividad 1

En el diario *El Mundo* del 14 de abril de 2010 aparece la noticia del descubrimiento de planetas extrasolares con órbitas «retrógradas», es decir, que giran en dirección contraria a su estrella. Considera que «este descubrimiento pone en entredicho las actuales teorías sobre el origen de los planetas puesto que hasta ahora se pensaba que todos los exoplanetas orbitaban en la misma dirección que rotaba su estrella madre como ocurre con el sistema solar». Y, en palabras del Director del Observatorio Astronómico Nacional, el artículo recoge que: «Estas observaciones demuestran que los planetas con órbitas retrógradas pueden ser muy frecuentes en el universo. Y el único mecanismo que puede explicar tal cantidad de planetas retrógrados es la existencia de colisiones cósmicas muy frecuentes». El descubrimiento fue anunciado durante el Encuentro Nacional de Astronomía que esa semana celebraba la Royal Astronomical Society en Glasgow. Estos hallazgos han sido posibles por el desarrollo de la avanzada tecnología de la última generación de los telescopios utilizados.

El artículo del diario *El Mundo* es el siguiente:

- GUERRERO, T. (2010). Exoplanetas que orbitan en dirección contraria a su estrella. *El Mundo* (14/04/2010). También disponible en línea en: <www.elmundo.es/elmundo/2010/04/12/ciencia/1271090020.html>.

Lee detenidamente la síntesis de la noticia y analiza:

- Parece que se está produciendo un cambio en las explicaciones sobre el origen de los planetas, ¿son frecuentes los cambios en el conocimiento científico? ¿qué papel tiene aquí la «observación»? ¿es cierto todo lo «científicamente comprobado»?
- ¿Es importante para un investigador o grupo de investigadores comunicar y compartir sus ideas e inquietudes con otros investigadores? ¿Por qué y para qué?
- ¿Puede avanzar la ciencia sin la tecnología? ¿Y la tecnología sin la ciencia?

Actividad 2

El 25 de mayo de 1925 es detenido en Estados Unidos el profesor de Biología John Scopes por enseñar la teoría de la evolución. Sería juzgado posteriormente por «explicar doctrinas contrarias a la Biblia». Grupos cristianos ultraconservadores habían logrado que se aprobara una ley que prohibía explicar en las aulas las teorías de Darwin. El juez que juzgaba el caso no aceptó que se aportaran pruebas científicas.

En 2004, se vivió en Dover (Pensilvania) una de las últimas batallas acerca de la enseñanza de la evolución en las escuelas públicas, al ordenarse a los maestros de Biología de una escuela de esta población que leyeran una polémica declaración a sus estudiantes. Ésta sugería que existe una alternativa totalmente válida a la conocida teoría de la evolución de Darwin: el diseño inteligente. Esta idea consistía en que la vida, tal y como la conocemos, es demasiado compleja para ser producto de una evolución natural y, por tanto, debe haber sido diseñada por un agente inteligente. Los profesores se negaron a obedecer y los padres se opusieron a esta teoría ante la corte federal. De hecho, acusaron a la junta escolar de violar la separación constitucional entre Iglesia y Estado. Según estos hechos:

- ¿Qué tipo de relación entre la sociedad y el conocimiento científico podemos deducir? ¿Y entre la ciencia y la ideología? ¿Siguen siendo problemas actuales?
- Infórmate acerca de las nuevas teorías sobre el «diseño inteligente» como alternativa a las teorías de la evolución de Darwin, y analiza si es una alternativa válida científicamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AA.VV. (2000). Las ciencias de la naturaleza y su método (1.ª Unidad Didáctica). *Ciencias de la Naturaleza*. 1.º ESO. Barcelona: Guadiel-EDEBÉ.
- BALLENILLA, F. (2003). *El prácticum en la formación inicial del profesorado de ciencias de enseñanza secundaria*. Tesis doctoral, Vol. 1. LiberLIBRO. También disponible en línea en: <www.liberlibro.com/21.004/index.html>.
- BURDEN, J., HUNT, A. y MILLAR, R. (2006). *Twenty first century science. Ideas about science*. Oxford: Oxford University Press. También disponible en línea en: <www.21stcenturyscience.org/rationale/ideas-about-science,904,NA.html>.
- CAAMAÑO, A. (1996). La comprensión de la naturaleza de la ciencia. Un objetivo de la enseñanza de las ciencias en la ESO. *Alambique*, 8, 43-51.
- CAMPANARIO, J.M. (2002). *La enseñanza de las ciencias en preguntas y respuestas*. Disponible en línea en: <www2.uah.es/jmc/webens/INDEX.html>.
- CASTAÑO, E. y otros (2006). *Educación y cultura científica*. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Educación.
- CHALMERS, A. (1994). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* 11.ª edición. Madrid: Siglo XXI.
- COLLINWOOD, R.G. (2007). *Idea de la naturaleza*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- DILTHEY, W. (1986). *Introducción a las ciencias del espíritu*. Madrid: Alianza Editorial.
- ECHEVERRÍA, J. (2002). *Ciencia y valores*. Barcelona: Destino.
- ESTANY, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona-Madrid: Crítica.
- FECYT (2005). *Segunda Encuesta Nacional sobre Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología, 2004*. Madrid: FECYT. También disponible en línea en: <www.fecyt.es/fecyt/home.do>.
- FERNÁNDEZ, I. y otros (2005). ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? En D. Gil y otros (eds.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Santiago de Chile: OREALC/UNESCO. También disponible en línea en: <www.oei.es/decada/libro/promocion04.pdf>.
- FEYERABEND, P. (1975). *Against Method*. Londres: NLB. [Traducción en español: *Tratado contra el método*, Madrid: Tecnos, 1981.]
- GUERRERO, T. (2010). Exoplanetas que orbitan en dirección contraria a su estrella. *El Mundo* (14/04/2010). También disponible en línea en: <www.elmundo.es/elmundo/2010/04/12/ciencia/1271090020.html>.
- GIERE, R. (1988). *Explaining Science. A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press. [Traducción en español: *La explicación de la Ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1992.]
- GIORDAN, A. y DE VECCHI, G. (1988). *Los orígenes del saber*. Sevilla: Diada.
- HECHT, E. (1987). *Física en perspectiva*. Wilmington: Addison Wesley Iberoamericana.
- HEMPEL, C.G. (1973). *Filosofía de la Ciencia Natural*. Madrid: Alianza Universidad.

- HORGAN, J. (1998). *El fin de la ciencia. Los límites del conocimiento en el declive de la era científica*. Barcelona: Paidós. Transiciones.
- IZQUIERDO, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En J. Perales y P. Cañal (eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.P. y OTERO, L. (1990). La ciencia como construcción social. *Cuadernos de Pedagogía*, 180, 20-22.
- KUHN, T.S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. [Traducción en español: *La estructura de las Revoluciones Científicas*, Fondo de Cultura Económica, 1971.]
- LAKATOS, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes-philosophical papers*. Vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press. [Traducción en español: *La metodología de los programas de investigación científica*, Madrid: Alianza Universidad, 1983.]
- LÓPEZ, C. (1994). Contradicciones cosmológicas. *El País* (19/11/1994). También disponible en línea en: <www.elpais.com/articulo/sociedad/HUBBLE/Contradicciones/cosmologicas/elpepisoc/19941019elpepisoc_24/Tes>.
- LÓPEZ CERESO, J.A. y CÁMARA, M. (2005). Apropiación social de la ciencia. En FECYT, *Percepción social de la ciencia y la tecnología en España, 2004*. Madrid: FECYT.
- LUFFIEGO, M. y otros (1994). Epistemología, caos y enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 89-96.
- MARCO, B. (1996). Aproximación didáctica a textos científicos originales. *Alambique*, 8, 53-62.
- MORIN, E. (1984). *Ciencia con consciencia*. Barcelona: Anthropos.
- PEARSON, K. (1990). *The Grammar of Science*. Londres: Adam and Charles Black.
- PEDRINACI, E. (coord.) (1996). Naturaleza e historia de la ciencia. *Alambique*, 8, 4-6.
- POPPER, K.R. (1934). *The logic of scientific discovery*. Londres: Hutchinson & Col. [Traducción en español: *La lógica de la investigación científica*, Madrid: Tecnos, 1962.]
- (1963). *Conjectures and refutations. The growth of scientific knowledge*. Londres: Routledge and Degan Paul. [Traducción en español: *Conjeturas y refutaciones. El desarrollo del pensamiento científico*, Paidós, 1983.]
- PORLÁN, R. (1995). *Constructivismo y escuela*. Sevilla: Diada.
- PUNSET, E. (2004). *Cara a cara con la vida, la mente y el Universo*. Barcelona: Destino.
- QUINTANILLA, M.A. (1978). El mito de la neutralidad de la ciencia. La responsabilidad del científico y del técnico. *El Basilisco*, 1, 52-56.
- SOLOMON, J. (1992). *What is science? / How does Society decide? / What is Technology?* SATIS 16-19. Hatfield: Association for Science Education.
- SOMMERVILLE, J. (1941). Umbrellaology, or Methodology in Social Science. *Philosophy of Science*, 8 (4), 557-566.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.

UNESCO (1999). Declaración sobre la ciencia y el uso del saber científico. Conferencia mundial sobre la ciencia. Budapest (26 de junio-1 de julio de 1999).

ZIMAN, J. (1986). *Introducción al estudio de las ciencias*. Madrid: Ariel.