

CUATRO PARADIGMAS BÁSICOS SOBRE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

ÁNGEL VÁZQUEZ

Universidad de las Islas Baleares

JOSÉ ANTONIO ACEVEDO

Inspección de Educación, Huelva

MARÍA ANTONIA MANASSERO

Universidad de las Islas Baleares

PILAR ACEVEDO

Universidad de Sevilla

Resumen. Entender la naturaleza de la ciencia es un objetivo de importancia creciente en los movimientos de reforma de la enseñanza de la ciencia. Pero la naturaleza de la ciencia es un concepto escurridizo y dialéctico construido sobre la base de un análisis histórico, epistemológico y sociológico de la empresa científica. Este artículo intenta, más allá del análisis usual de los autores individuales, establecer un núcleo de ideas en torno a la naturaleza de la ciencia sobre las bases de cuatro paradigmas fundamentales tales como el positivismo, realismo, instrumentalismo y relativismo. El consenso y la controversia entre estas posiciones proporciona las bases para adelantar una concepción global coherente y avanzada para enseñar la naturaleza de la ciencia.

Abstract. Understanding the nature of science is a growing objective in the current science education reform movements. But the nature of science is an elusive and dialectic concept constructed on the basis of historical, epistemological and sociological analysis of scientific enterprise. This paper is going beyond the usual analysis of individual authors, to set up the core ideas about the nature of science on the basis of four main paradigms such as positivism, realism, instrumentalism, and relativism. The consensus and controversial among these positions provide a basis to put forward a global, coherent, and advanced conception to teach the nature of science.

El extraordinario éxito y progreso alcanzados en los últimos tres siglos por la «filosofía natural», más tarde denominada ciencia natural y después ciencia, sin más, han rodeado a ésta, a los científicos y sus

realizaciones de una aureola de prestigio y consideración. Como consecuencia de ello se ha concitado sobre la ciencia una gran atención investigadora, tratando de identificar sus características propias y específicas, con especial atención a la racionalidad implicada en la práctica científica. Fundamentalmente, estos análisis se han desarrollado por tres vías principales de investigación que, aunque diferentes, acaban siendo convergentes, dada la unidad del problema que tratan. La primera corresponde a la historia de la ciencia, que es una herramienta básica para las otras dos. La segunda es la reflexión filosófica, que tradicionalmente se ha centrado en las cualidades del denominado método científico para el avance de esta forma de conocimiento. La tercera es la sociología de la ciencia, que pone un contrapunto empírico a los análisis filosófico-metodológicos, resaltando la insuficiencia de éstos para dar cuenta, con precisión, de todos los aspectos implicados en el progreso científico. En la práctica, estas tres vías resultan en gran modo complementarias para comprender la manera de proceder de la ciencia, aunque desde diversas instancias se ha intentado muchas veces reducir la reflexión sobre ésta (metodológica, histórica o sociológica) al análisis de sus propias categorías y esquemas empíricos, estudiando las teorías científicas desde un punto de vista estático, esto es, una vez elaboradas y no desde una perspectiva dinámica, a lo largo de su proceso de construcción y desarrollo; propuesta que ha conducido inevitablemente a potenciar posiciones de fe ciega en la ciencia (cientifismo) que hoy día no parecen tener ninguna perspectiva de éxito (Radnitzky y Andersson, 1982).

Comprender la ciencia no puede reducirse al saber enciclopédico de sus principales hechos, conceptos y principios, como ha defendido la enseñanza tradicional. En los últimos años y en el marco de la educación científica, el objetivo de lograr una adecuada comprensión de la naturaleza de la ciencia ha amplificado su importancia por considerarse central para una auténtica alfabetización científica de todos los ciudadanos. Sin embargo, diversos estudios e investigaciones han constatado que la educación científica no ha conseguido alcanzarlo hasta ahora, no sólo entre el alumnado (Lederman, 1992; Meichtry, 1993; Solbes y Traver, 1996) sino, incluso, entre el profesorado (Aguirre, Haggerty y Linder, 1990; Bloom, 1989; Lakin y Wellington, 1994; Lederman y Zeidler, 1987), aunque también se han señalado resultados más matizados (Acevedo, 1994, 2000; Manassero, Vázquez y Acevedo 2001) y algunos hasta esperanzadores (Lederman y O'Malley, 1990; Aikenhead, 1987; Manassero y Vázquez, 1998).

La intensa investigación filosófica realizada en este campo ha ido reduciendo las cuestiones epistemológicas más importantes sobre la naturaleza de la ciencia a unos pocos, pero enjundiosos, temas concretos, tales como la conceptualización de las teorías científicas, la inconmensurabilidad, las anomalías, las controversias y el contraste entre teorías, así como las condiciones que causan el cambio de teorías y el progreso científico, la conceptualización del progreso mismo, los métodos y criterios de validación del conocimiento científico (la racionalidad científica), el concepto de verdad, los intereses y determinantes de la producción científica, etc. Por su interés para conseguir el objetivo educativo señalado, la filosofía y la historia de la ciencia están recibiendo atención continuada en diversas revistas especializadas en educación científica, extranjeras (p.ej., *International Journal of Science Education*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Science Education* y *Science & Education*, entre otras) y españolas (p.ej., *Enseñanza de las Ciencias e Investigación en la Escuela*), presentando análisis de las posiciones de algunos pensadores (p.ej., Aliberas, Gutiérrez e Izquierdo, 1989; Harres y Porlán, 1999; López-Rupérez, 1990; Mellado y Carracedo, 1993; Porlán, 1990), con el objetivo de dar una formación epistemológica básica y fundamentar diversas posiciones en didáctica de las ciencias.

La investigación epistemológica y sociológica sobre la ciencia ha dado lugar a una imagen de ésta compleja y poco asequible para los profanos. No obstante, las construcciones epistemológicas de diferentes autores han trascendido su mera individualidad para consolidar diversas escuelas o corrientes sobre la naturaleza de la ciencia, con importantes diferencias entre ellas pero también algunas coincidencias. Este artículo pretende superar el análisis basado en un autor concreto o una posición determinada, como ha ocurrido muy a menudo en la didáctica de las ciencias, para pasar a estudiar comparativamente cuatro importantes paradigmas (positivismo, realismo, pragmatismo y relativismo), entendidos como marcos generales de investigación que se consideran básicos para fundamentar un planteamiento educativo coherente con el objetivo de conseguir una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia en la enseñanza científica, a partir de las coincidencias y las discrepancias entre estos paradigmas. Puesto que el positivismo ha sido históricamente el primero en consolidarse, el análisis se iniciará con él. Los restantes son consecuencia de distintas críticas al positivismo, donde el relativismo le sigue en la exposición por ser la más radical y, también, porque es una forma de entender mejor los otros dos, el rea-

lismo y el pragmatismo, que en cierto modo defienden posiciones intermedias entre el positivismo y el relativismo.

POSITIVISMO

Cuando se nombra el positivismo hoy en día, los filósofos se suelen referir más bien a la Escuela de Berlín y al famoso Círculo de Viena, con Reichenbach y Carnap al frente, respectivamente, antes que a Comte, que fue quien utilizó por primera vez el nombre de positivismo cuando escribió su *Curso de filosofía positiva* en el siglo XIX. Este positivismo lógico, que se asienta sobre factores epistémicos, hechos empíricos y razonamiento lógico, se desarrolló especialmente en los años treinta, aunque ha pervivido con fuerza por lo menos hasta finales de los años cincuenta y con diversas adiciones (neopositivismo) hasta finales del siglo XX, siendo Hempel y Nagel también nombres claves en esta línea de pensamiento. El gran proyecto del Círculo de Viena fue la elaboración de la *Enciclopedia para la Ciencia Unificada*, en el que la reducción de unas ciencias a otras era el objetivo fundamental. Según esta perspectiva, el progreso científico está ligado a procesos de reducción de teorías, destacando dos tipos; uno por el que una teoría científica suficientemente probada extiende su campo de acción a otros fenómenos que habían sido estudiados de manera diferente, reduciéndolos a sus propios términos y marco teórico, y otro que consiste en la inclusión en una teoría científica más amplia de otras que estaban bien establecidas y aceptadas en sus propios dominios.

Los positivistas lógicos identifican la filosofía de la ciencia con la epistemología científica, o más propiamente reducen la primera a la segunda. En los años treinta Reichenbach estableció explícitamente que la tarea a realizar por los epistemólogos era la *reconstrucción lógica*. Este filósofo distinguió también claramente entre el contexto de descubrimiento (ciencia privada) y el contexto de justificación (ciencia pública). Según Reichenbach, los filósofos de la ciencia no tienen por qué ocuparse de cómo se llega a producir el descubrimiento científico (su génesis), sino de los resultados finales de la investigación científica expresados en artículos o libros (hechos descubiertos, teorías elaboradas, métodos lógicos empleados y la justificación empírica de las consecuencias y predicciones derivadas de las teorías). Con esta distinción, los epistemólogos positivistas no se ocuparán de los procesos científicos reales, sino que elaborarán exclusivamente sus reconstrucciones

lógicas. Desde esta perspectiva la filosofía de la ciencia se convierte en una metaciencia (una ciencia de la ciencia), concentrando su objeto de estudio exclusivamente en el conocimiento elaborado. Este reduccionismo de la ciencia al conocimiento puro, descuidando los aspectos prácticos de la actividad científica y tecnológica (y la actual tecnociencia) es otro de los numerosos aspectos por el que los positivistas lógicos han sido muy criticados (Hacking, 1983).

A comienzos de los sesenta, Putnan propuso englobar bajo el nombre de Concepción Heredada (*Received View*) al conjunto de ideas básicas que caracterizaban al neopositivismo y a la filosofía analítica de la ciencia que dominaba hasta entonces la epistemología de la ciencia. Como recuerda Echeverría (1999, p. 37), el Simposio de Urbana, celebrado del 26 al 29 de marzo de 1969, supuso un gran debate entre las tesis centrales de la Concepción Heredada y las profundas críticas que se le planteaban (Suppe, 1974). En la actualidad, desde un punto de vista global, la tradición positivista está superada y no goza de una aceptación mayoritaria, pero su conocimiento es necesario para comprender los debates que dieron lugar a nuevos puntos de vista epistemológicos sobre la naturaleza de la ciencia y también, desde la perspectiva educativa de este artículo, porque pese a todo la filosofía positivista aún continúa vigente en nuestras aulas, tanto en el pensamiento del profesorado de ciencias como en muchos libros de texto de uso habitual.

Hacking (1983, pp. 61-62 de la traducción en español, 1996) caracteriza al positivismo por las siguientes ideas básicas:

- Hace hincapié en la verificación (o alguna variante como la falsabilidad).
- Cultiva en exceso la observación.
- Es contrario a la causación. No es necesario buscar causas en la naturaleza, tan sólo regularidades del tipo antecedente-consecuente.
- No da suficiente importancia a las explicaciones científicas.
- Es refractario a las entidades teóricas (antirrealismo).
- Se opone radicalmente a la metafísica, que se considera estéril para la ciencia porque está construida sin ningún correlato

empírico, aplicando la navaja de Occam de manera tajante para descartar del pensamiento científico todo lo que recuerde a filosofía especulativa (empirismo antimetafísico).

Cuando nos referimos al positivismo lógico, habría que añadir a los rasgos positivistas anteriores la importancia concedida a la lógica, así como el interés por el significado y el análisis del lenguaje. Sin embargo, estas nuevas características son ajenas a los primeros positivistas y también al contemporáneo Van Fraassen (1980), que comparte cinco de las ideas básicas señaladas por Hacking, todas menos el entusiasmo por la verificación o alguna de sus variantes, que realmente alcanzó su máximo vigor en los años en que triunfaba el positivismo lógico.

El positivismo contempla a la ciencia como un intento de codificar y anticipar la experiencia y, más aún, considera que el método científico es el único intento válido de conocimiento, basado en los datos observacionales y las mediciones de magnitudes y sucesos. Así pues, una de las tesis básicas del positivismo lógico es el dogma de la unidad y universalidad del método científico. Se desarrollan teorías y leyes para correlacionar datos empíricos y, por tanto, la teoría verdadera es la mejor contrastada, esto es, la que se ajusta mejor a todos los datos observacionales, denominada teoría empíricamente adecuada. La verdad de la ciencia consiste en el mejor grado de bondad en ese ajuste, que determina la adecuación empírica de las teorías. En definitiva, sólo son creíbles aquellas proposiciones cuya verdad pueda establecerse por medio de observaciones. Además, el positivismo sostiene la existencia de un criterio radical de demarcación entre la ciencia y la no-ciencia, que sería la aplicación de dicho método científico único y universal, consistente en un conjunto de reglas objetivas y universales para el diseño de experimentos y la evaluación de teorías que aseguran el éxito y el progreso.

Para los positivistas la ciencia progresa en la medida en que las teorías pueden predecir y explicar más que sus predecesoras. Suele defenderse como criterio de progreso científico que la teoría nueva contenga a la vieja como caso límite y así permita retener sus éxitos (que tenga una mayor generalidad) y corregir sus errores. El concepto positivista de progreso científico, que resulta del cambio racional de teorías científicas (una teoría es reducida por otra que la sustituye), es acumulativo y se puede sintetizar en tres condiciones que debe cumplir la nueva teoría (Nagel 1961):

- Toda explicación o predicción confirmada por la antigua teoría debe estar incluida en la nueva. Como ambas abarcan los mismos temas, las dos teorías serán conmensurables.
- Ha de tener conclusiones empíricas no incluidas en la precedente (se habla de progreso si y sólo si existen nuevas leyes que describen correctamente fenómenos no explicados anteriormente).
- Tiene que evitar las consecuencias falsas de la teoría antecedente (condición fuerte).

Como hace notar Hacking (1983), a comienzos de la década de los sesenta, la mayoría de los filósofos anglosajones estaban más o menos de acuerdo con las ideas de Nagel, pero pronto surgirían Kuhn y Feyerabend y la tesis de la inconmensurabilidad entre teorías: la nueva teoría puede acabar reemplazando los temas, conceptos y problemas que abordaba la teoría antigua. Seguramente por influjo de las contundentes críticas recibidas, sobre todo a partir de los años sesenta, el positivismo ha suavizado posteriormente sus posiciones más duras, en particular las que se refieren a la objetividad y precedencia absoluta de los datos empíricos, así como la defensa a ultranza de las observaciones, hasta admitir la existencia de una cierta continuidad entre observaciones y teoría, pero manteniendo siempre lo observacional como algo más seguro y previo a lo teórico. Ciertos neopositivistas llegan a admitir algunas de las tesis relativistas más débiles sobre las teorías, tales como la inducción pesimista de la historia (cualquier teoría será superada por otra teoría, luego se puede presumir falsa aunque no lo sepamos todavía) y la carga teórica inherente a toda observación (cualquier protocolo observacional presupone algún supuesto de teoría).

El positivismo pasa por ser la posición más infalibilista, pero con matices que van desde el radicalismo de aceptar sin límites el principio de inducción (inductivismo ingenuo), cuya demostración no fue capaz de resolver Carnap, hasta neopositivistas que aceptan el principio de Hume (ningún enunciado universal puede deducirse de un conjunto finito de casos favorables). El positivismo cree en la posibilidad de contrastar hipótesis aisladas, en contra de la tesis holista de Duhem-Quine (citado en Laudan, 1990, pp. 60-61 de la traducción española, 1993), que afirma la imposibilidad de deducir la falsedad de ningún elemento aislado de una red de enunciados, ni siquiera a partir de la falsedad del todo, ya que, en una contrastación, las hipótesis nunca se

enfrentan aisladamente con la experiencia, sino como una parte de agrupaciones mayores que suponen otras hipótesis, condiciones iniciales, de contorno, etc. Por último, para los positivistas, el cambio y el progreso científico se alcanzan aplicando las reglas codificadas de la ciencia y, en consecuencias, ambos están por encima de cualquier consideración particular o interesada. De aquí concluyen que la ciencia es el único camino para el conocimiento válido (reduccionismo cientifista); esto es, el conocimiento científico es el único válido, objetivo y verdadero.

RELATIVISMO

Los parcialmente fallidos intentos de codificar la metodología científica por los positivistas lógicos del Círculo de Viena, Popper y otros epistemólogos de la primera mitad del siglo XX, han conducido, en determinados ambientes supuestamente intelectuales, a un escepticismo que en ocasiones resulta bastante irracional: el relativismo. En la década de los cincuenta, Toulmin (1953) ya recalcó que los análisis de la filosofía de la ciencia tenían que ir más allá de una imagen estática de las teorías científicas bien establecidas, para investigarlas en su proceso de constitución y desarrollo, con todas las discontinuidades que esto pudiera implicar en sus estructuras lógicas (Echeverría, 1999). Toulmin no era un relativista, pero su insistencia en la dinámica de las teorías científicas, desarrollada más tarde desde un punto de vista evolucionista y en buena parte instrumentalista (Toulmin, 1972), y en la importancia de la Historia de la Ciencia y del contexto de descubrimiento para la epistemología de la ciencia, fue un anticipo de lo que se llamaría el giro historicista (*historical turn*), que tanta importancia tendría para el relativismo y su severa crítica tanto al positivismo lógico como al racionalismo crítico de Popper. En la misma década, Hanson (1958) también denunció la falta de contacto de los filósofos de la Concepción Heredada con la investigación científica real, porque centraban sus estudios solamente en teorías científicas ya constituidas, acabadas y aceptadas, restringiendo la filosofía de la ciencia al contexto de justificación. Las ideas de Hanson fueron retomadas por Kuhn y Feyerabend, que suelen considerarse los primeros referentes filosóficos importantes del relativismo.

La publicación del libro de Kuhn *La estructura de las revoluciones científicas* marcó una nueva etapa en la filosofía de la ciencia del siglo

XX y en los estudios sobre la ciencia en general, estando asociada con el nacimiento del movimiento relativista. En esta obra, que es un clásico del siglo XX sobre la metodología científica (desde su aparición se han vendido en torno a un millón de ejemplares y se ha traducido a unos veinte idiomas), se destaca la enorme importancia de la Historia de la Ciencia para estudiar la metodología científica. Kuhn (1962) no sólo se opone a una concepción positivista y acumulativa del progreso científico, proponiendo un punto de vista discontinuo del mismo, sino que también se enfrenta al falsacionismo de Popper.

El relativismo considera a la ciencia ante todo una actividad social y humana, una más de las emprendidas por la humanidad para lograr conocimientos sobre el mundo, y, por tanto, se la contempla como una vía más de conocimiento, ni exclusiva ni excluyente de otras distintas, pero igualmente válidas para dicho fin. Por la consideración e importancia concedida a los aspectos personales (intereses, creencias propias, etc.) y contextuales (sociales, relacionales, políticos, económicos, etc.) y su influencia en la generación del conocimiento científico (el contexto de descubrimiento), el relativismo ha sido tildado de introducir aspectos psicológicos y subjetivos en la epistemología de la ciencia. La tesis básica del relativismo sostiene el falibilismo extremo de la ciencia (y, en general, de cualquier forma de conocimiento humano): las pruebas, especialmente las empíricas, no son decisivas para conformar las verdades científicas; es decir, las afirmaciones sobre el mundo no provienen exclusivamente de los datos observacionales.

El primer argumento se refiere a la carga teórica inherente a todo protocolo de observación por empírico que éste sea (Hanson, 1958), de ahí que todo el conocimiento científico sea en el fondo teoría, o viene precedido por ella. El segundo argumento, referente a la falta de validez del principio de inducción, es de carácter lógico y ya había sido utilizado desde otras posiciones por Popper (1958): sólo se puede acceder a un número finito de observaciones y la lógica demuestra la existencia de un gran número de hipótesis compatibles con un conjunto finito de observaciones, que incluso pueden ser contradictorias entre sí. Así pues, no tiene mucho sentido hacer referencia a experimentos cruciales, porque la evidencia empírica por sí sola no puede permitir decidir entre teorías rivales incompatibles; incluso en el caso de que pudieran cubrirse todas las consecuencias posibles podrían existir múltiples teorías compatibles con ellas. Esta relativización del poder de las pruebas para validar el conocimiento se sitúa en el extremo opues-

to del positivismo, que las considera incontrovertibles y el único criterio posible para la contrastación de las teorías. El tercer argumento relativista insiste en el carácter convencional de las pruebas empíricas. En primer lugar, toda observación se codifica en un lenguaje que es una convención más y, en segundo lugar, la decisión de aceptar un registro de observación como verídico es también convencional. La conclusión es que toda observación supone convenciones y si éstas no son ni verdaderas ni falsas (simplemente se aceptan o no), cualquier observación tampoco lo será, por lo cual difícilmente podrá servir para hacer una falsación, contrastación o verificación de una teoría, lo que constituye la expresión máxima del anarquismo metodológico (Feyerabend, 1975).

Un concepto clave del trabajo de Kuhn (1962) es el de paradigma, reelaborado y matizado varias veces desde las formulaciones iniciales, incluyendo un cambio de nombre que no ha conseguido la misma popularidad (*matriz disciplinar*, en su sentido más general, como el conjunto de compromisos compartidos por una comunidad científica, y *ejemplares*, en un sentido más estricto, como los casos paradigmáticos bien establecidos que se toman como referencia). Aunque se han contabilizado numerosos sentidos diferentes de la noción de paradigma (más de veinte), utilizados por el propio Kuhn en su clásica obra, éstos pueden resumirse en tres grandes grupos:

- Aspecto filosófico (metafísico) del paradigma, que proporciona la imagen del mundo y las creencias básicas de los científicos sobre lo que puede ser la realidad.
- Aspecto sociológico del paradigma, referente a la parte institucional del mismo; esto es, a la estructura y las señas de identidad de la comunidad de científicos seguidores del paradigma, así como las relaciones internas y externas de esta comunidad.
- Aspecto científico-técnico del paradigma, relacionado con los problemas resueltos y las cuestiones explicadas por su utilización.

Un paradigma está formado básicamente por un conjunto de supuestos muy generales sobre el mundo (ontología del paradigma) y otro sobre la forma en que éste puede estudiarse (métodos para acceder al conocimiento o epistemología del paradigma). La parte metodológica y

la teoría sustantiva del paradigma no están entrelazadas de forma inseparable, ya que las teorías no apoyan siempre a las reglas asociadas al paradigma. Desde el relativismo y otros enfoques asociados al giro historicista, se considera que las teorías científicas no pueden ser las unidades básicas para el estudio del progreso científico, ya que su generación y desarrollo se da dentro de un marco de investigación más general, que incluye compromisos o supuestos básicos compartidos por la comunidad de científicos especialistas en un campo de conocimiento. Estos marcos generales de investigación cambian con el tiempo y constituyen las unidades más adecuadas para los análisis sobre la ciencia. Los acontecimientos históricos más interesantes son aquellos en los que se producen cambios profundos en los marcos generales que guían la investigación científica. Durante los períodos en que una ciencia está madura (ciencia normal), que se caracterizan por la estabilidad del paradigma, los científicos se afanan en contrastar y refutar versiones concretas de éste, resolviendo problemas y cuestiones dentro del mismo (en Pérez-Ransanz, 1999, pp. 34-66, puede consultarse una explicación acerca de la naturaleza y el papel de los paradigmas, así como sobre las funciones de los procesos de investigación durante la ciencia normal).

Los problemas que se resisten a ser solucionados no se consideran falsaciones del paradigma sino anomalías. Éstas son expectativas inducidas por una teoría que no se han cumplido y representan auténticos desafíos epistemológicos. La mera existencia de anomalías sin resolver no tiene por qué hacer entrar en crisis al paradigma, ya que siempre hay, y habrá, experiencias u observaciones que no se pueden explicar de manera plenamente satisfactoria, o que incluso están en contradicción con el marco teórico vigente, y que se aparcan a la espera de tiempos mejores, ya que de lo contrario sería imposible hacer ciencia normal. Además, un desacuerdo con alguna predicción de una teoría puede tener muchas otras explicaciones al margen de ésta, por lo que es poco razonable rechazar una teoría científica que cuente con muchos éxitos solamente porque se haya falsado alguna de sus predicciones. Sin embargo, en determinadas condiciones especiales, las anomalías pueden desarrollarse de tal forma que minen la confianza en el paradigma. Por ejemplo, aquellas anomalías que tengan que ver con los propios fundamentos del paradigma o con alguna necesidad social apremiante serán especialmente importantes y podrían originar que éste entre en crisis. La cantidad de anomalías importantes también influirá en el comienzo de la crisis y la gravedad de ésta aumentará cuando

aparece un paradigma rival. Con la crisis de un paradigma comienza la ciencia extraordinaria o revolucionaria. Durante los períodos de ciencia extraordinaria algunos científicos cambian el núcleo, la ontología y los criterios del paradigma, pero no existe una norma de racionalidad que pruebe que éste se encuentra definitivamente desahuciado; las razones a favor o en contra de un sistema de creencias son equipotentes, ya que las pruebas empíricas nunca son suficientes para cambiarlo. La naturaleza holista de las teorías científicas permite negar que éstas estén bien confirmadas o falsadas, y más aún si se tiene en cuenta la utilización de las hipótesis auxiliares (*ad hoc*) que permiten mantenerlas. Por tanto, nunca se puede decir que una teoría está desacreditada del todo por fuertes que sean las pruebas empíricas en su contra, ni que una teoría desacreditada no pueda revitalizarse más adelante. El relativismo sostiene que los científicos no renuncian fácilmente a sus teorías cuando les suministran predicciones erróneas; los paradigmas son abandonados en grandes grupos por otras razones muy diversas.

Kuhn (1962) estableció tres diferencias esenciales entre paradigmas rivales:

- Tienen diferentes concepciones sobre la ciencia de la que se ocupan y tratan de resolver diferentes problemas.
- Entre ellos se dan divergencias conceptuales que están unidas a sus diferentes lenguajes teóricos y a la distinta interpretación ontológica de los datos que analizan.
- Sus respectivos defensores no perciben la misma visión del mundo.

Estas tesis se oponen al principal dogma positivista: la existencia de una misma base empírica para todos los científicos. A partir de análisis de casos históricos, Kuhn (1962) se muestra en contra, subrayando que las diferencias entre dos paradigmas rivales son irreconciliables, pudiendo ser ontológicas, epistemológicas, conceptuales y perceptivas. Los cambios drásticos de paradigmas (revoluciones científicas) suponen siempre una modificación en la visión de los científicos sobre el mundo, aunque éste no cambie. Por tal motivo, pese a que las explicaciones de Kuhn de los procesos radicales de cambio científico se han considerado relativistas, no parece razonable considerar a Kuhn un relativista ontológico, sino más bien un relativista epistemológico.

Otro de los argumentos relativistas más elaborados sobre la imposibilidad de comparar las teorías científicas adecuadamente es la tesis de la inconmensurabilidad, que plantea el problema de la traducción del significado de los conceptos entre paradigmas rivales. Las nociones científicas no están aisladas, sino que su significado les viene conferido por la red de supuestos con los que están asociadas en el marco del paradigma. La traducción entre paradigmas está radicalmente infradeterminada por las experiencias, de modo que nunca podemos estar seguros de haber llegado al significado real de los términos en su lenguaje propio. Esta tesis es central en toda la obra de Kuhn, guarda una estrecha relación con la carga teórica de la observación y también tiene implicaciones ontológicas que han contribuido a reavivar la polémica sobre el realismo en los últimos años (Pérez-Ransanz 1999). Así mismo, representa la fuente más poderosa de argumentos contra la popular idea de que las teorías acaban siendo incluidas (reducidas) en las teorías alternativas triunfantes y, por tanto, que el desarrollo científico es acumulativo (una idea común, difundida y asumida desde el mismo nacimiento de la ciencia moderna en el siglo XVII, que se asocia a la imagen oficial de la ciencia), ya que la inconmensurabilidad permite dar cuenta de las rupturas y las pérdidas que necesariamente se producen en las revoluciones científicas entre dos paradigmas rivales.

Inicialmente, Kuhn (1962) utilizó la inconmensurabilidad desde posiciones menos radicales que las de Feyerabend (1975); pero, mientras que éste se limita al nivel semántico (Vázquez, 1997), Kuhn se extiende a un ámbito mucho más amplio, abarcando las diferencias entre paradigmas rivales tanto en los aspectos cognitivos (supuestos ontológicos de existencia, percepción del mundo, sistemas conceptuales, postulados teóricos, etc.) como metodológicos (estrategias procedimentales, técnicas experimentales, criterios de evaluación, etc.). Esta versión kuhniana, centrada en la inconmensurabilidad entre paradigmas, es más global y, en consecuencia, pierde precisión respecto a la de Feyerabend (Pérez-Ransanz 1999). En sus escritos posteriores de las décadas de los setenta y los ochenta, Kuhn (1983a, 1983b) ganó claridad acotándola a la imposibilidad de traducir los lenguajes científicos de teorías rivales (Zamora, 1994). De esta manera Kuhn ha acabado por mantener tesis con algunas semejanzas (pero también con importantes diferencias) a las de Quine (1960) sobre la indeterminación de la traducción (Vázquez 1997), convirtiéndose en un relativista lingüístico. Para Kuhn, no hay, ni puede haber, un lenguaje universal para

la ciencia, porque los diferentes paradigmas modifican el lenguaje científico profundamente al tener una generalización simbólica distinta cada uno de ellos (Echeverría, 1999). Posteriormente, Kuhn (1991) se mostró convencido de que su tesis de la inconmensurabilidad no se oponía a la racionalidad científica sino que abría el camino hacia otra forma de concebirla, que no está basada en la posibilidad de una completa traducción semántica. Frente a la exigencia de traducción de significados, Kuhn argumenta que la racionalidad científica lo que necesita es la interpretación y comprensión de las teorías rivales (Zamora, 1994), algo que es muy familiar en el trabajo de los historiadores de la ciencia. En esta nueva aproximación al problema de la racionalidad, los principios normativos y evaluativos deben obtenerse de la Historia de la Ciencia, en vez de importarlos directamente de algún paradigma preferido para tomarlos como el fundamento de la reconstrucción racional *a priori* de la ciencia.

Para Feyerabend (1975) dos teorías científicas rivales son inconmensurables cuando sus principios fundamentales son tan radicalmente diferentes que no es posible formular los conceptos básicos de una de ellas en los términos de la otra, con lo que ambas teorías no compartirán ningún enunciado observacional y no será posible compararlas desde un punto de vista lógico. Aunque sean inconmensurables existen algunas formas de compararlas; por ejemplo, puede hacerse en función de su coherencia interna o de su fiabilidad. También se pueden confrontar con una serie de situaciones observables y ver cuál es el grado de compatibilidad de cada una de ellas con tales situaciones, interpretadas siempre en función de sus propios términos. El problema surge a la hora de elegir los criterios de comparación adecuados. Feyerabend (1975) subraya que la resolución de esta cuestión y, por tanto, la elección entre dos teorías rivales inconmensurables es subjetiva. Esta conclusión ha sido criticada por Chalmers (1982) y Olivé (1992), entre otros, matizando que aun cuando las valoraciones que puedan hacerse de una teoría científica sean en parte subjetivas, ya que están condicionadas por factores contextuales, esto no significa que forzosamente sean inmunes a una argumentación racional, estando abiertas a la crítica e, incluso, a un posible cambio de opinión a partir de buenos argumentos y de la modificación de las condiciones contextuales.

Otra de las cuestiones importantes suscitada por el relativismo es la demarcación entre lo que es ciencia y lo que no lo es. Para un racionalista sólo son teorías científicas las que pueden ser evaluadas con

un criterio universal y superen la prueba empírica correspondiente. Por el contrario, un relativista negará la posibilidad de que exista un criterio de racionalidad único, intemporal y universal, por el que una teoría pueda ser considerada mejor o peor que su rival. Aunque moderado, Kuhn sí se muestra relativista en esta cuestión ya que rechaza la necesidad de tajantes fundamentos universales para evaluar el conocimiento científico; los criterios de valoración de las teorías científicas pueden variar de un científico a otro y, más aún, de una comunidad de científicos a otra. Para comprender por qué un científico elige una teoría hay que saber qué es lo que valora, lo cual supone una buena dosis de subjetividad e, incluso, admitir la posibilidad de la intervención de elementos no racionales al tomar su decisión. De la misma forma, la selección de una teoría por parte de una comunidad de científicos dependerá también de lo que éstos valoran. Para los relativistas radicales, la demarcación entre ciencia y no-ciencia es mucho menos importante y más arbitraria que para los racionalistas. Tal puede ser el caso de filósofos como Feyerabend (1975) o, más recientemente, el de Von Glasersfeld (1987, 1995), un relativista constructivista radical cuyos argumentos han sido muy criticados por Matthews (1992b, 1994b) y Suchting (1992), entre otros. En cambio, Kuhn (1962) señala que la existencia de un paradigma, capaz de sostener una tradición de ciencia normal durante un período de tiempo, es precisamente la característica que permite diferenciar entre lo que es ciencia y lo que todavía no lo es (que él denomina pre-ciencia).

En suma, para el relativismo la actual posición de predominio de la ciencia, la tecnología y la tecnociencia no puede entenderse solamente mediante el análisis de sus respectivas naturalezas desde un punto de vista interno, sino que requiere también la comprensión de la sociedad que les da el prestigio que han alcanzado. Consecuentemente, los relativistas concluyen que el progreso y el cambio de teorías en la ciencia no es un proceso absolutamente racional, sino que se produce dentro del juego normal de intereses, motivaciones y preocupaciones propios de cualquier actividad humana, con lo que establecen una base social (contextualismo), cuando no individual (subjetivismo), en la determinación del progreso científico. Los intereses personales, profesionales y sociales de los científicos no actúan generalmente de forma explícita, debido al sistema de recompensas de la ciencia que penalizaría fuertemente a un científico que se mantuviera en un paradigma rechazado por los demás. El modelo de intereses personales y profesionales ha sido valorado positivamente por diversos movimientos políticos y gru-

pos sociales de presión, pero también ha recibido fuertes críticas desde otras posiciones. Esta perspectiva, que adquirió gran importancia en la sociología constructivista del conocimiento científico (constructivismo sociológico) y, en general, en las diversas posiciones englobadas en el batiburrillo de puntos de vistas postmodernos (donde la incertidumbre reina como la única certeza admisible), implica que no se reconoce el éxito en el progreso del conocimiento científico como un rasgo exclusivo de la ciencia, sino que puede ser compartido con otros tipos de conocimiento. Además, para los relativistas el progreso científico no es acumulativo, tal y como sostienen con distintos matices positivistas, realistas y pragmatistas; siempre existen pérdidas y ganancias en los cambios de paradigmas y de teorías rivales, y el desarrollo científico no es algo nítido y lineal. Así mismo, tampoco es un concepto absoluto; las teorías alternativas resuelven los problemas de diferente forma y su avance depende de la opinión de quienes evalúan esas soluciones.

Otra tesis importante del relativismo es el carácter holista del conocimiento científico. Las hipótesis nunca se contrastan individualmente, sino como partes de redes más amplias de un sistema de creencias. Por tanto, el éxito o el fracaso de este proceso debe llevar a buscar errores y aciertos en toda la red global. Además, el principio de infra-determinación otorga una cierta equivalencia a las teorías científicas rivales, aunque conviene matizar en este punto la existencia de dos posiciones diferenciadas, representantes de un relativismo fuerte (las pruebas empíricas nunca tienen suficiente fuerza para elegir entre teorías rivales) o un relativismo débil (hay ocasiones en que las pruebas empíricas existentes no permiten elegir entre teorías rivales).

En resumen, se puede considerar que el relativismo defiende tesis epistemológicas extremas, tales como la inconmensurabilidad, el holismo y la infradeterminación radical, que han actuado como importantes estímulos intelectuales en el avance de la comprensión de la naturaleza de la ciencia. Sin embargo, el relativismo radical también ha recibido críticas muy fuertes, especialmente durante la última década del siglo XX, tanto desde la filosofía (p.ej., Bunge, 1999; Laudan, 1990, 1996), como de la propia ciencia (p.ej., Sokal y Bricmont, 1998; Wolpert, 1992).

REALISMO

Aunque hay muchas formas de realismo, habitualmente se suele denominar así a la posición que se basa en la existencia de algún tipo de correspondencia entre las creencias sobre el mundo y éste mismo. De otra manera, los realistas típicos, cuyo representante más conspicuo es quizás Karl Popper (1972) con su racionalismo y realismo crítico, creen que las descripciones del mundo hechas por la ciencia mantienen un elevado grado de correspondencia con el propio mundo natural. Esta definición está muy próxima a otra de Putnam (1975, p. 210): «*Cuando un científico con mentalidad realista [...] acepta una teoría, la acepta como verdadera (o probablemente verdadera, o aproximadamente verdadera, o probablemente aproximadamente verdadera)*».

Así pues, los planteamientos realistas más duros parten de considerar que el objetivo de la ciencia es buscar teorías verdaderas según un criterio de racionalidad, representado por la superación de muchos intentos de falsación, es decir, de demostrar que la teoría falla. Desde este punto de vista, se hace de la verdad un objetivo de la ciencia y no un atributo de las teorías científicas, pero, desde otros puntos de vista, no es necesario identificar con el realismo la búsqueda de la verdad como finalidad de la ciencia para ser realistas. Sobre la base de este exigente criterio, el realismo tradicional adopta una posición reduccionista y cientifista en cuanto considera que la ciencia es el único camino válido para el conocimiento (criterio de demarcación entre lo que es y no es ciencia), por ser el que se enfrenta explícitamente con su falsación. Popper (1958) ataca al positivismo por el principio de inducción, demostrando sus paradojas y falta de validez para la aceptación o el rechazo de las teorías. En lo que se refiere a esto, la posición realista de Popper se basa en los niveles de apoyo empírico de una teoría, que se consideran individualmente necesarias y, en conjunto, suficientes:

1. Se rechazan las teorías que no se adaptan a los fenómenos conocidos.
2. Se prefieren las teorías que hacen predicciones sorprendentes.
3. Se eligen las teorías que explican fenómenos de rango más amplio.
4. Se opta por aquellas teorías que ofrecen una explicación única de un fenómeno.

El criterio de falsación es incompatible con el de inclusión o reducción, que considera como progreso científico la mayor generalidad de las teorías; hay teorías más generales que otras que no las contienen. En consecuencia, los realistas popperianos aceptan con reservas también la noción del caso límite de las teorías superadas; sólo las consideran válidas para los elementos cuantitativos, ecuaciones y datos, pero no para las afirmaciones cualitativas (por ejemplo, el caso del espacio-tiempo absoluto de la física relativista).

Para los seguidores de Popper, las pruebas empíricas por sí solas no son suficientes para falsar un enunciado, puesto que están lastradas por la teoría. Sin embargo, mantienen la distinción entre teoría y práctica: existen teorías observacionales y teorías propiamente dichas; las primeras son más seguras y falsables, mientras que las segundas son más dudosas; pero, contra el positivismo, destacan la importancia de las teorías, ya que éstas pueden corregir las afirmaciones de la observación. La división de una teoría entre términos observacionales y términos puramente teóricos permite predicar de aquéllos la posibilidad de conmensurabilidad y, en consecuencia, la de falsación y emplear criterios racionales para la selección de las teorías.

La posición realista común en relación con la falibilidad del conocimiento científico se sitúa en un cierto tipo de relativismo débil, aceptando las siguientes tesis:

1. Toda teoría será superada por otra, luego toda teoría se puede presumir falsa aunque no lo sepamos todavía (inducción pesimista de la historia).
2. Todo protocolo observacional presupone algún subconjunto de la teoría vigente.

No obstante, los realistas consideran que la tesis de la infra-determinación no es suficiente para negar la posibilidad de una elección racional entre teorías rivales, de modo que creen que se pueden decidir las teorías verdaderas mediante algún criterio de racionalidad.

Sobre la conmensurabilidad o equivalencia empírica de las teorías, diferencian entre los casos favorables a la teoría y los de confirmación de ésta mediante el criterio de Nicod (Hempel, 1969; Laudan, 1977, p. 40 de la traducción española): una observación suministra una prueba

a favor de una hipótesis cuando ésta implica un enunciado de la prueba. Si una teoría o una hipótesis hacen predicciones falsas, éstas pueden y deben rechazarse sin demora. Este método asegura el éxito y el progreso característico de la ciencia y, a la vez, permite demarcar entre ciencia y no-ciencia. El realismo de Popper admite, por tanto, la falsación de hipótesis aisladas y también que las reglas funcionan para seleccionar teorías con una razonable estabilidad y como criterio de demarcación. En cambio, los relativistas argumentan contra esta tesis que la historia demuestra lo contrario: los paradigmas tienen una muerte súbita cuando la comunidad científica decide abandonarlo; si las tesis de Popper fueran ciertas, los paradigmas tendrían una muerte lenta a medida que se van considerando falsados. Los pragmatistas añaden que las reglas se justifican como medios para alcanzar los fines de la investigación científica y éstos determinan el método.

Las principales críticas al realismo popperiano se centran en la aceptación, ni bien explicada ni justificada, de la correspondencia entre ideas y mundo, en la distinción artificial entre lo teórico y lo observacional (dualismo muy criticado por el relativismo) y en la falta de consideración de los intereses personales y sociales imbricados en la actividad científica. Los programas de investigación de Lakatos (1978), que mantienen parte del objetivismo popperiano desde el enfoque del giro historicista, han servido para avanzar en la resolución de algunas de las objeciones más importantes al realismo de Popper, como la rigidez del falsacionismo, tendiendo puentes entre éste y el pragmatismo.

En los últimos veinte años se viene observando un desplazamiento en el interés de los filósofos desde la cuestión de la racionalidad científica (los problemas metodológicos) al viejo problema del realismo y el debate sobre lo que es verdadero en el conocimiento científico (los problemas ontológicos y metafísicos). Desde el racionalismo del realismo crítico de Popper se han desarrollado diferentes perspectivas realistas de muy diversos grados; por ejemplo, la escuela finlandesa de Tuomela (1985) y Niiniluoto (1984, 1991) con el realismo científico crítico, que se sitúa en la misma línea del realismo popperiano pero mejorando significativamente sus ideas, y cuya principal tesis es considerar la ciencia como una sucesión de teorías que convergen aproximándose cada vez más hacia la verdad o, al menos, hacia la verosimilitud. Las posiciones realistas de Popper, Tuomela y Niiniluoto pueden considerarse propias de un realismo duro, porque hacen consustancial a éste el concepto de verdad como correspondencia; pero, como seña-

la Diéguez (1998), esto no tiene por qué ser siempre así. El realismo transformativo de Hacking (1983) y el realismo constructivo de Giere (1988), entre otros muchos más, son ejemplos de perspectivas realistas que prefieren explicar la relación entre las teorías científicas y el mundo sin recurrir al concepto de verdad o falsedad como algo esencial. El realismo sobre las teorías científicas afirma que el objetivo de éstas es la verdad y que en ocasiones se aproximan a ella; pero también es importante ocuparse de las entidades y objetos mencionados en las teorías científicas, y se puede ser realista sobre entidades y objetos sin serlo necesariamente sobre las teorías. Los realistas hacen hincapié en que no todas las teorías científicas son meros instrumentos (posición típica del pragmatismo), ni todos los términos teóricos (que incluyen las entidades y objetos de una teoría) son simples heurísticos.

El tratamiento de todas estas otras formas de realismo excede con mucho las pretensiones de este artículo (para un desarrollo clarificador sobre este tema puede consultarse Diéguez, 1998). No obstante, es interesante esbozar brevemente el realismo transformativo de Hacking, por su novedosa aportación a la faceta intervencionista de la ciencia (o, mejor aún, de la tecnociencia actual) en la transformación del mundo, y el realismo constructivo de Giere (1988), que más recientemente ha precisado en lo que denomina realismo perspectivo (Giere, 1999a), por su actual influencia en la didáctica de las ciencias (Giere, 1999b). Según Hacking, el realismo tiene más que ver con nuestras intervenciones en el mundo (la práctica científica y tecnológica y sus efectos en la transformación del mundo) que con nuestras representaciones o lo que pensamos acerca de él (el conocimiento científico sobre el mundo en sí mismo). Parafraseando a Hanson (1958), Hacking (1983) resalta que la observación y la experimentación científica están cargadas de una competente práctica previa. Como señala Echevarría (1999), para Hacking lo esencial no es la verdad científica, sino la capacidad innovadora de la ciencia (y especialmente de la tecnociencia). Las tesis de Hacking son relevantes también para la filosofía de la tecnología y, así mismo, han servido para reinterpretar algunas de las propuestas de la sociología de la ciencia hechas en la década de los años setenta.

Por otra parte, Giere pasó tres años (1983-1986) acudiendo asiduamente como investigador a las instalaciones del ciclotrón de la Universidad de Indiana, de modo similar a como hacen algunos sociólogos relativistas de la ciencia (p.ej., Latour y Woolgar, 1979/1986), pero sus conclusiones fueron muy diferentes a las de éstos; en vez de construc-

ción de entidades, Giere encontró contingencia y negociación, compatibles con una posición realista (Diéguez, 1998). Para Giere, los físicos que trabajaban en los laboratorios que visitó son realistas y, a su juicio, tenían buenas razones para serlo. Giere designa su realismo como la posición por la que: «[...] *Cuando una teoría científica se acepta, es porque la mayoría de sus elementos representan (en algún aspecto y en cierto grado) aspectos del mundo.*» (Giere, 1988, p. 7). Así mismo, en otro escrito precisa más su realismo moderado: «*Como el realismo tradicional, el realismo perspectivo asume que el mundo posee una estructura global definida. Esta estructura, no obstante, es considerada demasiado compleja para ser abarcada completamente en ninguna representación que los humanos puedan crear o comprender.*» (Giere, 1999a, p. 9). Aclara su carácter constructivo al señalar que: «*Así podemos acordar que todas las representaciones son construcciones humanas resultantes tanto de la experiencia tanto individual como social.*» (Giere, 1999a, p. 9) y también que: «[...] *Los modelos científicos son constructos humanos, pero algunos proporcionan un mejor ajuste con el mundo que otros, y se puede saber que lo hacen.*» (Giere, 1992, p. 97). De esta manera, su posición además de realista es constructivista, aunque en un sentido mucho más moderado que el del constructivismo radical propio de muchos sociólogos de la ciencia postmodernos y relativistas. Además, el constructivismo cognitivo de Giere hace desaparecer la incompatibilidad entre realismo y constructivismo porque no elimina la conexión representacional entre lo que los científicos afirman y el mundo real, como sí hace el constructivismo social radical.

PRAGMATISMO

El pragmatismo se fundó en los EE.UU. por C.S. Peirce en el siglo XIX. Este filósofo reemplaza verdad por método, lo que garantiza la objetividad científica; la verdad es lo que el método científico establece, si la investigación continúa el tiempo suficiente. Peirce niega el principio de correspondencia como criterio de verdad, que es propio del realismo metafísico y del realismo científico. También afirma que algo es real cuando una comunidad de científicos acaba poniéndose de acuerdo en su existencia. Para Peirce el progreso en el conocimiento científico depende del mayor o menor grado de proximidad a los fines de la ciencia; se progresa cuando se producen teorías mejores y más fiables, criterio que implica un cierto diacronismo y una clasificación

no arbitraria de los fines de la ciencia, sino empíricamente apoyada. En la época contemporánea, el realismo interno o pragmático de Putnam (1981, 1987) se alinea en parte con las tesis de Peirce al sostener que los métodos de investigación pueden evolucionar y crecer, construyéndose así nuevas formas de razonamiento. El pragmatismo fue popularizado por W. James y J. Dewey, que lo llamó instrumentalismo; Rorty es un filósofo actual que ha desarrollado algunos de los puntos de vista de éstos pensadores norteamericanos. Para la mayoría de los filósofos actuales, un instrumentalista es un antirrealista respecto a las teorías científicas que afirma que éstas no son más que herramientas para organizar la descripción de los fenómenos y hacer inferencias; de otra forma, el componente teórico de la ciencia no describe la realidad y las teorías se consideran sólo instrumentos útiles destinados a relacionar un conjunto de observables con otros.

Las posiciones pragmatistas, funcionalistas o instrumentalistas, se caracterizan por considerar la ciencia un instrumento cuyo objetivo es producir teorías capaces de superar contrastes empíricos más exigentes, lo que las hace más fiables. Las mejores teorías son las que han superado pruebas más fuertes y son útiles como guías fiables para conseguir los objetivos de la ciencia. La ciencia es un conocimiento sobre el mundo de naturaleza funcional, cuyo rechazo o sostenimiento viene determinado por la fecundidad en su descripción. El pragmatismo distingue los objetos reales del mundo y los teóricos (idealizaciones) de la ciencia, que describen a los otros. Así mismo, desplaza el acento negativo del realismo de Popper en la falsación de teorías hacia las contrastaciones superadas; si una teoría falla al resolver determinados problemas no es razón suficiente para descartarla. Las tradiciones de investigación de Laudan (1977) en su primera etapa pueden considerarse encuadradas en esta línea y, en ciertos aspectos, también el evolucionismo de Toulmin (1972), cuya posición general respecto a las teorías científicas era en sus comienzos claramente instrumentalista (Toulmin, 1953). Respecto a los criterios de demarcación del conocimiento, el pragmatismo admite que la ciencia no es el único camino válido para el conocimiento, alineándose en parte con las tesis relativistas frente a las posiciones científicas del positivismo y realismo. En ciertos aspectos el pragmatismo puede considerarse una posición intermedia entre el realismo y el relativismo radical, como queda patente en sus puntos de vista sobre el progreso científico y la dinámica de aceptación y rechazo de las teorías científicas.

El instrumentalismo también admite la existencia de progreso en las teorías científicas, pero éste no es el concepto acumulativo y lineal de los positivistas, sino que resulta no lineal, relativo y con pérdidas, porque los fines de la ciencia propuestos desde el instrumentalismo también son cambiantes y relativos. Una teoría es mejor si supera contrastaciones más exigentes que sus rivales no han pasado, las cuales tampoco superan las pruebas donde pudiera haber fallado la primera. Ahora bien, la selección de una teoría no es definitiva, tan sólo significa que ha superado contrastaciones más importantes que sus competidoras en un momento histórico. El pragmatismo hila fino en lo que deben considerarse verdaderos contrastes de una teoría respecto al problema de las hipótesis *ad hoc*, creadas para salvar una anomalía o prueba en contra, y las hipótesis protectoras que salvaguardan de la falsación al núcleo de una teoría, asunto que ya estaba presente en los planteamientos de los neopopperianos. Así, no se consideran auténticas pruebas de contraste de una teoría las de aquellas leyes creadas para su logro. También incluyen dentro del programa de contraste la confrontación con otros dominios de conocimiento aparentemente alejados o inconexos, es decir, la coherencia con teorías contrastadas en otros ámbitos. Un ejemplo muy claro es el de la física de partículas y las teorías cosmológicas sobre el universo, dos campos desconectados hace unos lustros que hoy en día se aportan mutuamente pruebas contundentes sobre sus respectivas teorías. Las hipótesis auxiliares que se descartan en una teoría podrían entonces ser importantes para otras áreas de investigación.

Aunque el pragmatismo no propone que la ciencia pueda validar conocimiento manifiestamente erróneo, sí sugiere que hasta el programa más fantasioso podría ser fecundo, gracias a la creatividad concertada de un equipo. También la sociología de la ciencia ha sostenido la capacidad potencial de una comunidad científica para la concertación, hasta el extremo de poder sostener teorías o ajustarlas a las evidencias empíricas anómalas (Barnes, 1982), o mantener la estabilidad de un sistema de creencias como una prerrogativa de sus usuarios (Bloor, 1971/1991).

En otro orden, el pragmatismo coincide con el realismo en que las teorías pueden ser equivalentes empíricamente, esto es, pueden compartir una misma base de pruebas empíricas. Esta tesis implica la negación del principio relativista de infradeterminación, admitiendo la posibilidad de contrastar hipótesis aisladas. Frente al punto de vista de Kuhn,

se sostiene que los cambios no son siempre revolucionarios, sino más bien se dan de forma evolutiva, gradual y continua (Toulmin, 1972), como, por ejemplo, en la transición entre el cartesianismo y el paradigma newtoniano. Desde el pragmatismo se critica el análisis kuhniano de las revoluciones por centrarse demasiado en los grandes cambios y no dar cumplida cuenta de las múltiples modificaciones graduales en las que no están implicadas los componentes nucleares de un paradigma. Cabe señalar, así mismo, que el instrumentalismo conlleva normalmente una cierta idea de verdad o verosimilitud, pero mucho más restringida que la asociada habitualmente a las posiciones realistas popperianas. Según éstas, las descripciones del mundo observable pueden ser verdaderas o falsas dependiendo de que lo describan correctamente o no. Sin embargo, para un instrumentalista los constructos teóricos no se juzgan con criterios de verdad o falsedad, sino más bien por su utilidad como instrumentos, ya que están destinados a proporcionarnos un control del mundo observable.

Por último, el instrumentalismo admite el concepto de paradigma científico, pero difiere de manera radical del relativismo en cuanto que no considera las reglas metodológicas como simples convenciones, sino en el mismo nivel que las teorías científicas. Las pruebas empíricas son pertinentes para ambas: las teorías se aceptan cuando funcionan y las reglas si muestran su capacidad para seleccionar las teorías más fiables. Las reglas de la ciencia se evalúan cuestionando si funcionan, esto es, si conducen a predicciones efectivas del mundo natural y a intervenciones eficaces en él. Tales reglas afirman una manera de narrar diversas historias evolutivas posibles, reflejan una serie de valores para promover los objetivos de la ciencia, buscar explicaciones fiables, aplicables, racionales y anticipatorias de experiencias futuras. En suma, las reglas sobre el método aportan también un hecho sustantivo al conocimiento; la investigación funciona mejor con unas reglas que con otras. En consecuencia, el conocimiento tiene un componente valorativo y de decisión racional muy claro para el pragmatismo, a diferencia de la ausencia de racionalidad y valoración propugnadas desde el relativismo más radical.

Un punto débil del pragmatismo, que le ha supuesto una importante fuente de críticas, es la diferenciación que hace entre entidades teóricas y observacionales. En efecto, adopta una actitud inductivista que le lleva a afirmar solamente aquello que provenga con seguridad de una observación fiable, pero esta posición se ve socavada porque todos los

enunciados observacionales dependen de las teorías y, por tanto, son falibles. Así pues, el punto de vista instrumentalista radical descansa en una distinción falaz. Al comparar el instrumentalismo con el realismo, Chalmers (1982) subraya que el carácter más prudente y precavido del primero le hace menos productivo para el desarrollo científico que la posición realista, la cual es más audaz y especulativa al estar dispuesta a conjeturar que las entidades de las teorías científicas pueden corresponder a lo que realmente existe en el mundo.

DISCUSIÓN E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

El recorrido realizado por los paradigmas anteriores muestra la complejidad de la filosofía de la ciencia y advierte de la necesidad de ser precavidos a la hora de adoptar un marco epistemológico y las consecuencias de esta decisión para la enseñanza de las ciencias. Por muy respetables que sean las prescripciones de un autor concreto, éstas deben confrontarse con las de otras corrientes de la epistemología de la ciencia antes de considerarlas adecuadas, lo que por desgracia no suele ser práctica habitual en didáctica de las ciencias. Abundan los trabajos que toman como fuente de autoridad a un determinado autor y la aplican acríticamente para justificar o interpretar hallazgos de toda índole con el fin de «llevar el agua a su propio molino»; sin embargo, los fundamentos de autoridad necesitan horizontes más amplios y fuentes más plurales. La importancia de la epistemología para la didáctica de las ciencias se centra sobre todo en que los alumnos alcancen una comprensión adecuada de la naturaleza de la ciencia en el marco de la educación científica. Numerosos proyectos educativos avanzados se plantean ya mejorar esta comprensión como parte esencial de la cultura y alfabetización científica de todos los ciudadanos (AAAS, 1990). Las reflexiones epistemológicas hechas sobre los cuatro paradigmas pueden parecer que complican este objetivo, pues sugieren que la naturaleza de la ciencia es filosófica, social e históricamente dialéctica entre polos contrarios que dan lugar a numerosas cuestiones polémicas. Este carácter controvertido debería poner en guardia sobre las recetas simplistas que a menudo se pretenden trasladar directamente al aula, especialmente en los niveles educativos más elementales. Ahora bien, no es menos cierto que junto a las discrepancias hay también algunos acuerdos. De entrada debe tomarse conciencia de que los temas donde hay consenso no se identifican demasiado bien con el modelo positivista, aunque

éste sea el más extendido y acriticamente asumido por muchos libros de texto y entre la mayoría del profesorado de ciencias (Manassero y Vázquez, 2000; Matthews, 1992a, 1994c). La epistemología tradicional de la ciencia emanada de la Concepción Heredada ha asignado tres componentes principales a la empresa científica:

1. Búsqueda de datos absolutos, definitivos e inamovibles para, desde ellos, derivar el resto del conocimiento.
2. Compromiso con unas reglas o recomendaciones para mejorar ese conocimiento.
3. Identificación de criterios para reconocer lo que realmente es una auténtica afirmación de conocimiento (criterios de validación).

A la vista de la revisión realizada, parece fuera de toda duda que tal asignación debe cuestionarse. Con matices diversos, los cuatro paradigmas aceptan hoy la falibilidad del conocimiento, que hace epistémicamente inviable la pretensión expuesta en el primer punto. No obstante, los otros dos, aunque alejados de las tesis científicas iniciales del positivismo lógico y del holismo radical de los relativistas, aún son defendidos con buenos argumentos por realistas y pragmatistas.

Por su importancia para la didáctica de las ciencias, conviene resumir los puntos de fricción más notables entre los cuatro paradigmas tratados para llegar a comprender mejor los límites actuales de la naturaleza de la ciencia. De acuerdo con lo apuntado en este estudio, las controversias más importantes se centran principalmente en la contrastación de las teorías; esto es, en los procesos de validación del conocimiento científico y en las reglas y criterios empleados para ello. Todos los paradigmas podrían admitir que la validación de las teorías requiere la superación de distintas contrastaciones y que, a igualdad de otros indicadores, la ciencia siempre ha preferido las teorías más simples (que postulan menos entidades) frente a las más complejas (que postulan muchas); es decir, aplica un principio de economía conceptual (la navaja de Occam).

La objeción más importante del relativismo a los demás paradigmas se refiere a las pretensiones de objetividad y racionalidad que éstos atribuyen al conocimiento científico. Los relativistas consideran que tal imagen es pura mitología, diseñada únicamente para dotar de una con-

dición de superioridad a una actividad que, en gran medida, está movida por intereses no cognitivos de poder, prestigio e influencia; elementos que intervienen de forma crucial en todas las elecciones hechas por los científicos y que han sido denunciados, sobre todo, por los análisis constructivistas más radicales de la sociología del conocimiento científico.

La principal crítica global al relativismo se refiere especialmente a su escepticismo radical, puesto que no hace ninguna afirmación positiva sobre la conformación del conocimiento. Según Sokal y Bricmont (1998), cuando se desafía con buenos argumentos a los relativistas, éstos tienden a replegarse a posiciones que se confunden con las del instrumentalismo. Como ya se ha señalado, los instrumentalistas reivindican que no hay forma de saber si las entidades teóricas inobservables existen realmente (antirrealismo). Ahora bien, esto no significa que consideren que estas entidades sean subjetivas, en el sentido relativista de que su significado esté sensiblemente influido por factores extracientíficos, personales (como, p.ej., la personalidad propia de cada científico) o contextuales (como, p.ej., las características sociales del grupo al que pertenece una comunidad de científicos). De hecho, los instrumentalistas suelen considerar que las teorías científicas son la manera más satisfactoria posible para que las personas, con sus limitaciones, sean capaces de entender el mundo. Otros argumentos importantes contra el relativismo se dirigen a su propio radicalismo extremo (un rasgo característico de la postmodernidad). En general, si se acepta la tesis relativista fuerte de que no se puede demostrar la superioridad de ninguna teoría sobre otra, se deduciría que las teorías alternativas podrían ser tan válidas como las relativistas. Así mismo, frente a la tesis relativista de las motivaciones no cognitivas de los científicos en su trabajo se podría objetar que si éstas fueran las que guiaran principalmente el trabajo científico, su dispersión, amplitud y heterogeneidad haría imposible explicar el consenso existente dentro de la comunidad científica; aunque los intereses pueden existir y ocasionalmente tener su importancia, no intervienen de manera tan radical sobre el desarrollo del conocimiento científico. Por ejemplo, respecto a la influencia de la autoridad intelectual de ciertos científicos, se aducen casos históricos del abandono de paradigmas en vida de los propios científicos prestigiosos que los crearon. Los intereses personales o grupales no tienen, pues, tanto poder en la validación del conocimiento científico, por lo que la tesis de las motivaciones cognitivas de los científicos puede estar tan bien fundada como la de los intereses personales y profesionales.

Una convicción epistemológica importante, aceptada en negativo actualmente, es la insuficiencia de la inferencia inductiva y la observación como herramientas básicas para tomar decisiones sobre la aceptación de las teorías. Certidumbres formuladas en positivo sobre este tema son que:

- Las teorías tienen un papel destacado en la actividad científica;
- éstas se generan y desarrollan siempre dentro de un marco de investigación más amplio (paradigmas, programas de investigación, cosmovisiones, tradiciones científicas, etc., son algunos de los nombres que han recibido por parte de diferentes autores) compartido por los científicos de la misma especialidad;
- por diferentes motivos, de vez en cuando, los científicos cambian sus opiniones sobre cuáles deberían ser las teorías centrales de sus disciplinas (visión dinámica y evolutiva del conocimiento científico);
- la ciencia moderna proporciona un importante grado de predicción y control manipulativo de la naturaleza (éxito y progreso de la ciencia).

La diversidad de ideas que tienen en la actualidad los filósofos sobre la naturaleza de la ciencia ha sido mostrada por Alters (1997). Más recientemente, Eflin *et al.* (1999) han destacado algunos acuerdos y desacuerdos entre los expertos en educación científica acerca de la naturaleza de la ciencia. El consenso se puede centrar en que (pp. 108-109):

1. La principal finalidad de la ciencia es adquirir conocimiento sobre el mundo físico.
2. En el mundo hay un orden fundamental que la ciencia pretende describir de la manera más simple y comprensiva posible.
3. La ciencia es cambiante, dinámica y provisional.
4. No existe un único método científico.

Mientras que los desacuerdos más importantes aparecen en los siguientes puntos (p. 109):

1. La generación del conocimiento científico depende de compromisos teóricos y factores sociales e históricos (contextualismo).
2. La verdad de las teorías científicas viene determinada por aspectos del mundo que existen independientemente de los científicos (realismo ontológico).

Eflin *et al.* piensan que casi todos los filósofos de la ciencia y los propios científicos están de acuerdo con los didactas de la ciencia en los aspectos donde señalan que hay consenso, lo que a nuestro juicio podría ser bastante aventurado en algunos casos. También subrayan que los puntos en donde no parece haber acuerdo entre los expertos en educación científica son bastante controvertidos también para los filósofos de la ciencia.

Parece obvio, pues, que el objetivo de comprensión de la naturaleza de la ciencia debería tener para la enseñanza de la ciencia una implicación directa: el currículo tendría que incluir algún tipo de contenidos actualizados de historia, filosofía y sociología de la ciencia. Artículos recientes (Abd-el-Khalick y Lederman, 2000; Acevedo, 2000; Eflin *et al.*, 1999; Manassero y Vázquez, 2000; Matthews, 1998) proporcionan diversas sugerencias sobre el papel a jugar por la filosofía de la ciencia en estos temas y qué aspectos de ésta deberían tratarse en la enseñanza de la ciencia y en la formación del profesorado de ciencias. Además, estas implicaciones curriculares deberían tener consecuencias diferentes según el tipo de curso o nivel planeados; por un lado, estarían los cursos dedicados exclusiva o principalmente a la historia, filosofía y sociología de la ciencia (p.ej., Marathé, 1994) y, por otro, los cursos generales de ciencia que plantean el objetivo de la comprensión de la naturaleza de la ciencia, pero dando el interés principal a los tópicos tradicionales de la ciencia y situando en un segundo plano los contenidos de historia, filosofía y sociología de la ciencia. En el primer caso se trataría de una enseñanza especializada (materias específicas y optativas, cursos universitarios, cursos de formación postgrado, etc.), que requiere la preparación de un currículo explícito y que no precisa de más comentarios porque permiten incorporar de una manera natural las ideas aquí discutidas, si bien con la profundidad adecuada al nivel de desarrollo del alumnado.

La segunda alternativa, el curso de ciencias común de las escuelas secundarias, tiene mayor trascendencia porque afecta a todos los estudiantes. El currículo de ciencias tiene que comprometerse con el obje-

tivo de comprender la naturaleza de la ciencia en dos dimensiones complementarias: la infusión sistemática de cuestiones y temas significativos de historia, filosofía y sociología de la ciencia, y el logro de tal objetivo como una meta común en todas las materias de ciencia (y tecnología). La educación científica debe asumir un objetivo transversal globalmente acorde con la naturaleza de la ciencia, que se adoptaría en todos los contenidos y actividades del aula de ciencias, y poner por delante la coherencia entre la ciencia escolar que se enseña y los rasgos más básicos de la naturaleza de la ciencia, de manera que no existan contradicciones evidentes entre ambos para que el alumnado pueda alcanzar así una comprensión adecuada, crítica y actualizada de la naturaleza de la ciencia. Esta coherencia se podría traducir en dar respuesta a la cuestión *¿la ciencia que se enseña en las aulas es coherente o contradictoria con la naturaleza de la ciencia?*, que es susceptible de subdividirse en otras como las siguientes:

- ¿Qué naturaleza de la ciencia se transmite cuando se enseña ciencia?
- ¿La naturaleza de la ciencia enseñada se planifica intencionalmente?
- ¿La naturaleza de la ciencia transmitida es coherente con los hechos, conceptos y procedimientos científicos que se enseñan?
- ¿Las actividades y recursos de aprendizaje empleados en el aula son coherentes con la naturaleza de la ciencia que se quiere enseñar?
- ¿El profesorado es consciente de la naturaleza de la ciencia que está transmitiendo a su alumnado?
- ¿Conoce el profesorado los diferentes paradigmas sobre la naturaleza de la ciencia?, etc.

Los resultados de las investigaciones sobre la comprensión de la naturaleza de la ciencia por parte de los estudiantes (Lederman, 1992) confirman algunas visiones inadecuadas y deformadas, que son semejantes a las obtenidas en estudios anteriores, mostrando el escaso progreso alcanzado y que tiene como importante consecuencia que los estudiantes se aparten de las ramas y opciones de los estudios científicos. Las deficiencias encontradas en los estudiantes han dirigido el análisis hacia los profesores, indagando su comprensión sobre el tema, dada la importancia que las concepciones del profesor tienen para la

enseñanza y para los propios estudiantes. La insuficiencia en la formación científica de los profesores de primaria es un denominador común a muchos estudios (Young y Kellog, 1993) y también se detecta poca reflexión epistemológica, coherencia y racionalidad en los planteamientos educativos de muchos profesores de secundaria, aunque su formación científica inicial sea más completa (Hodson, 1999; Ruggieri, Tarsitani y Vicentini, 1993), así como una preocupante identidad con las ideas de los estudiantes en determinadas cuestiones (Manassero y Vázquez, 1998, 2000), lo que sugiere la necesidad de formarlos en este tema concreto.

Desde luego, como ha señalado Rebollo (1998), en los estudios científicos universitarios no suele darse la debida importancia a que los futuros profesores de ciencias reflexionen sobre la naturaleza de la ciencia. Puesto que la formación inicial del profesorado en este campo suele ser escasa y a menudo obsoleta, en diversos trabajos (p.ej. Acevedo 1994, 1996; Manassero y Vázquez, 2000) se insiste en la urgente necesidad de su incorporación a los planes de formación inicial y actualización científica y didáctica para la formación permanente del profesorado de ciencias, con el fin de tratar de promover su reflexión sobre estos aspectos y favorecer su planificación curricular y puesta en práctica en el aula. Esta necesaria reflexión epistemológica sobre la ciencia y el progreso del conocimiento científico, que supone la previa adquisición de cierta formación sobre las principales aportaciones que se han hecho durante la segunda mitad del siglo XX (y se siguen haciendo actualmente) desde las perspectivas filosófica, histórica y sociológica, podría contribuir a mejorar los fundamentos de la enseñanza de las materias científicas. Pero, desde la didáctica de las ciencias, resulta imprescindible tratar estos temas relacionándolos con la propia práctica docente (Mellado y Carracedo 1993); esto es, abordarlos en el marco de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, porque la inmensa mayoría de las cuestiones relacionadas con la docencia no adquieren plenamente su sentido hasta que el profesor no se enfrenta con ellas en la compleja realidad del aula (Acevedo 1996). De ahí la relevancia de las preguntas planteadas dos párrafos más arriba.

Pese a todo, aunque la posesión por parte de los profesores de una visión filosófica, histórica y sociológicamente más rica y reflexiva sobre la ciencia y el trabajo científico es muy importante, no conviene perder de vista que esto no garantiza que sus estudiantes vayan a lograr siempre una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia y del desarrollo del conocimiento científico (Acevedo, 2000; Manassero y

Vázquez 2000), de modo similar al conocido hecho de que un buen dominio de la materia a enseñar por los profesores, aunque imprescindible, tampoco asegura el aprendizaje adecuado de la misma por parte de los alumnos. En todo esto inciden otros muchos factores que, sin duda, hacen perder gran parte de la coherencia del discurso epistemológico cuando se pasa del plano teórico a la práctica en el aula, problemática planteada en algunas de las preguntas formuladas. En el contexto de la práctica docente, el riesgo de estar transmitiendo una imagen de la ciencia inadecuada (incluso de manera implícita e involuntaria a través del discurso científico del profesorado en el aula), nos lleva a una primera conclusión concreta: hay que evitar visiones ampliamente superadas y deformadas sobre la naturaleza de la ciencia, como el empirismo inductivista, la creencia de que el conocimiento científico crece de manera exclusivamente acumulativa, la infalibilidad, la universalidad del método científico entendido como un algoritmo mecánico que conduce al éxito, los mitos de la objetividad y la neutralidad de la ciencia, el individualismo y la descontextualización en la génesis del conocimiento científico (Gil, 1993).

Otro punto de vista inadecuado, común en muchos planteamientos curriculares, es la distinción radical entre teoría y práctica. La cuestión no es que no se pueda diferenciar entre una actividad de campo o laboratorio y otra de aula, sino que se esté transmitiendo la creencia ingenua de que las observaciones o las mediciones están libres de teoría, de acuerdo con la prescripción de que el conocimiento se establece en el aula de clase y luego se comprueba en el laboratorio o en el mundo, y, por tanto, que esto último es lo más importante para juzgar el conocimiento científico (reduccionismo empirista). El hábito de las prácticas separadas de las clases teóricas, si no cuenta antes con las aclaraciones pertinentes, puede llevar a la consideración de que la observación y la teoría son independientes, y a la primera precedente y jerárquicamente superior a la segunda. Esta forma de actuar es especialmente arriesgada al trabajar con los alumnos más jóvenes, cuando realizan las observaciones y medidas más simples y directas, donde la tendencia a considerarlas más obvias y libres de cualquier carga teórica es más inmediata, y también es patente en las prácticas planteadas como recetas a seguir antes que como problemas a resolver. En general, los enfoques de enseñanza de las ciencias basados en los procedimientos dan lugar a una perspectiva implícita que suele ser poco eficaz para una adecuada comprensión de la naturaleza de la ciencia (Monk y Osborne, 1997; Abd-el-Khalick y Lederman, 2000).

Relacionado con la distinción radical entre teoría y práctica está también el tema de la exclusión de la tecnología (el conocimiento necesario para intervenir modificando el mundo, considerado esencialmente práctico) de los currículos escolares de ciencia (el conocimiento imprescindible para hacer las representaciones del mundo, que se supone básicamente teórico), lo cual no es sino una muestra más de las diferencias de prestigio entre ciencia y tecnología y del estigma de lo aplicado respecto a lo teórico en la enseñanza de las ciencias (Gardner, 1999), que se remonta al menos hasta el pensamiento griego clásico. Desde una perspectiva puramente epistemológica, esta exclusión resulta deformadora por las mismas razones antes aducidas; pero también lo es porque contribuye a oscurecer las relaciones históricas entre ciencia y sociedad, y entre ciencia y tecnología, cuya presencia y notoriedad son aún más abrumadoras en el mundo actual (sobre todo en la tecnociencia). También es negativa la exclusión de la tecnología del currículo de ciencias porque impide relacionar la ciencia escolar con la experiencia cotidiana del alumnado, ya que la tecnología es parte habitual en el día a día de los estudiantes. Sin duda esto resulta muy negativo a la hora de favorecer un aprendizaje significativo, porque elimina una referencia importante para su logro: la transferencia de los aprendizajes escolares a la vida cotidiana.

Cuando se acepta implícita y acríticamente la verdad absoluta del conocimiento científico, con la ayuda de la matematización (que suele degenerar en formulismo) y la prescriptividad de las leyes, los planteamientos de aprendizaje en ciencias parecen estar más próximos al autoritarismo y la coerción que a la libre adhesión racional del alumno; planteamiento que suele justificarse a partir de la idea, muy extendida entre el profesorado, de instruir al alumno lo más intensa y rápidamente posible en el paradigma (más propiamente, en los paradigmas) de los conocimientos científicos básicos vigentes (tanto en la enseñanza universitaria como en la secundaria, que suele considerarse preparatoria de aquélla). Por el contrario, si el aprendizaje como proceso de construcción del conocimiento tiene que ser coherente con la naturaleza de la ciencia, debería aproximarse al consenso que se emplea en la comunidad científica para resolver las controversias, modelo basado en la libre discusión, el intercambio y la negociación de los significados. La concomitancia entre la epistemología científica y la epistemología constructivista del aprendizaje ha sido destacada muchas veces (Mellado y Carracedo, 1993) y también es coherente con las propuestas de modelos de cambio conceptual que tratan de superar las concepciones alternativas del alumnado (Duschl, 1995).

A veces, también se ha sugerido que el grupo-clase sea considerado como una comunidad de investigadores que tome decisiones de aprendizaje desde la discusión y la negociación (Burbules y Linn, 1991). Tanto los modelos basados en que el estudiante construya su propio aprendizaje, como los modelos psicológicos de conducta de las personas que proponen la metáfora de éstas actuando en su vida como científicos ingenuos (Heider, 1958), suministran cierto apoyo teórico a la hora de considerar la analogía del alumnado con investigadores noveles dirigidos por el profesor en sus actividades de aprendizaje en el aula de ciencias (Gil, 1993). Sin embargo, esta analogía didáctica tiene también muchas limitaciones y debería ser adaptada cuidadosamente para cada edad del alumnado (Usabiaga, 1987), de la misma manera que, desde un punto de vista realista, se destaca la poca correspondencia que hay entre la construcción de conocimientos nuevos y la manera en que se aprenden los conocimientos ya elaborados (Osborne, 1996).

Por otra parte, el reconocimiento de la influencia de los aspectos no estrictamente cognitivos en la determinación del conocimiento científico debe invitar a superar tanto la descontextualización como cierta deshumanización de la ciencia en el ámbito didáctico, manifestadas en la eliminación de las cuestiones históricas, sociales, etc., y la reducción a los contenidos factuales y conceptuales de la enseñanza tradicional de la ciencia. Las clases de ciencias tienen fama de difíciles y abstractas porque no suelen dar demasiada importancia en las actividades de aprendizaje a los contenidos actitudinales y axiológicos (normas y valores), tales como intereses del alumnado, motivación, creatividad, afectividad, curiosidad, etc., y en este planteamiento subyace, sin duda, buena parte del rechazo que muestran a la ciencia muchos alumnos y, con más frecuencia, alumnas (ciencia como saber masculino, en particular la física). Estos modelos de enseñanza tradicionales son más perjudiciales porque su justificación se basa en la supuesta total objetividad y neutralidad de la ciencia, incorrectamente entendidas como un rechazo o negación a la consideración de cualquier aspecto socializador, actitudinal, personal o subjetivo. Abordar las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, como propugna el movimiento para la educación CTS, puede ser un elemento decisivo para introducir las actitudes y los valores en la enseñanza de la ciencia.

Por último, el tratamiento del error, el conflicto y la controversia también es una importante fuente para mejorar la comprensión de la naturaleza de la ciencia. Voltes (1995) da en la diana cuando concluye

su libro resaltando que: «[...] *la mejor prueba de que la ciencia continúa palpitante y tensa es que sigan registrándose errores en su elaboración*». La historia de la ciencia es pródiga en errores, algunos fraudes, rectificaciones y rupturas, debido al carácter esencialmente humano de la empresa científica; existen casos históricos de rechazo de teorías que luego se han aceptado, así como del mantenimiento de otras que luego resultaron manifiestamente erróneas. Además, mediante un análisis socio-bibliográfico, De Solla (1963) ha mostrado que en torno al 90% del trabajo científico publicado en las revistas de investigación se olvida pronto o no tiene incidencia apreciable en el progreso del conocimiento científico. El tratamiento del error en la clase de ciencias debe evitar el sentido dogmático de rechazo superficial o acrítico por no coincidir con los resultados esperados, puesto que así se fomenta una ciencia dogmática, infalible y definitiva. La investigación de las concepciones alternativas de los estudiantes y su aparente paralelismo con los grandes errores históricos de la ciencia, nos enseña que debe evitarse la desconsideración y el olvido de los errores; más bien al contrario, éstos pueden y deben ser motivo de un tratamiento formativo para lograr un aprendizaje significativo como cambio progresivo, que debe ser a la vez conceptual, metodológico y actitudinal (p.ej., Duschl y Gitomer, 1991; Gil y Carrascosa, 1985; Vázquez y Manassero, 1998).

En resumen, aunque la situación de los cuatro paradigmas epistemológicos considerados en este artículo es dialéctica y cambiante, las aportaciones decantadas de ellos tienen implicaciones concretas para la enseñanza de la ciencia de gran fuste e importancia, especialmente en aquellos aspectos que la propia dialéctica ha contribuido a consolidar. Un punto de acuerdo básico que se extrae de todos ellos podría resumirse en el propósito de transmitir en la educación científica un genuino espíritu de la ciencia que sea base adecuada para comprender mejor la naturaleza de la ciencia. Este espíritu se hace operativo en los valores y prácticas científicas identificadas por la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia, cuya naturaleza educativa tiene componentes cognitivos (saber), procedimentales (saber hacer) y actitudinales (saber ser) como disposición general para entender cómo funcionan la ciencia y la tecnología en la sociedad actual. Ahora bien, los objetivos educativos que se planteen deben ser claros aunque no demasiado ambiciosos. Una persona alfabetizada científicamente tiene que aprender algo sobre naturaleza de la ciencia para poder distinguir lo que es ciencia de lo que no lo es, tener razones para comprender e interesarse por los temas científicos y para sustentar creencias científicas.

cas, ser capaz de comprender y rebatir argumentos contrarios a los propios y criticarse a sí mismo. Este perfil de persona alfabetizada no puede construirse nunca desde el adoctrinamiento (hacer que los alumnos piensen lo mismo que yo), sino desde una educación más abierta, que, además, no debe pretender abordar cuestiones de alto nivel filosófico, adaptándose siempre a la edad de los estudiantes. Aunque estos objetivos puedan considerarse modestos, son valiosos para la enseñanza de la ciencia de todas las personas, no tanto por su profundidad sino por su capacidad para llegar a toda la ciudadanía, sobre todo a quienes no van a acceder en el futuro a una formación científica especializada.

REFERENCIAS

- AAAS, American Association for the Advancement of Science (1990). *Science for all americans. A project 2061 report on literacy goals in Science, Mathematics, and Technology*. Nueva York: Oxford University Press.
- Abd-el-Khalick, F., Bell, R.L., Lederman, N.G. (1998). The nature of science and instructional practice: making the unnatural natural. *Science Education*, 82, 417-436.
- Abd-el-Khalick, F. y Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22 (7), 665-701.
- Acevedo, J.A. (1994). Los futuros profesores de Enseñanza Secundaria ante la sociología y la epistemología de las ciencias. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 19, 111-125.
- Acevedo, J.A. (1996). La formación del profesorado de enseñanza secundaria y la educación CTS. Una cuestión problemática. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 26, 131-144.
- Acevedo, J.A. (2000). Algunas creencias sobre el conocimiento científico de los profesores de Educación Secundaria en formación inicial. *Bordón*, 52 (1), 5-16.
- Aguirre, J.M., Haggerty, S.M. y Linder, C.J. (1990). Student-teacher conceptions of science, teaching and learning: a case study in preservice science education. *International Journal of Science Education*, 12 (4), 381-390.
- Aikenhead, G.S. (1987). High School Graduates' Beliefs About Science-Technology-Society. III. Characteristics and Limitations of Scientific Knowledge. *Science Education*, 71 (4), 459-487.
- Aliberas, J., Gutiérrez, R. e Izquierdo, M. (1989). La didáctica de les ciències: una empresa racional. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 277-284.
- Alters, B.J. (1997). Whose Nature of Science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (1), 39-55.

- Barnes, B. (1982). *T.S. Kuhn and social science*. Londres: MacMillan Press. Traducción de R. Helier (1986): *T.S. Kuhn y las ciencias sociales*. México D.F.: F.C.E.
- Bloom, J.W. (1989). Preservice elementary teachers' conceptions of science: science, theories, and evolution. *International Journal of Science Education*, 11 (4), 401-415.
- Bloor, D. (1971). *Knowledge and Social Imagery*. Londres: Routledge & Kegan Paul. [2ª edición (1991). Chicago, IL: University of Chicago Press]. Traducción de E. Lizcano y R. Blanco (1998): *Conocimiento e imaginario social*. Barcelona: Gedisa.
- Bunge, M. (1999). *The sociology-philosophy connection*. Transaction Publishers, New Brunswick, NJ. Traducción de M.A. González (2000). *La relación entre la sociología y la filosofía*. Madrid: EDAF.
- Burbules, N.C. y Linn, M.C. (1991). Science Education and Philosophy of Science: Congruence or Contradiction. *International Journal of Science Education*, 13 (3), 227-241.
- De Solla-Price, D.J. (1963). *Little science, big science*. Nueva York: Columbia University Press. Traducción de J.M. López Piñero (1973). *Hacia una ciencia de la ciencia*. Barcelona: Ariel.
- Chalmers, A.F. (1982, 2ª ed.). *What is this thing called science?* Milton Keynes: Open University Press. Traducción de E. Pérez Sedeño y P. López Máez (1984): *¿Qué es esa llamada ciencia?* Madrid: Siglo XXI.
- Diéguez, A. (1998). *Realismo científico. Una introducción al debate actual en filosofía de la ciencia*. Málaga: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga.
- Duhem, P. (1915, reed. 1981). *La théorie physique: son objet-sa structure*. París: M. Rivière.
- Duschl, R.A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 3-14.
- Duschl, R.A. y Gitomer, D.H. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (2), 839-858.
- Echeverría, J. (1999). *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*. Barcelona: Càtedra.
- Eflin, J.T., Glennan, S. y Reisch, R. (1999). The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (1), 107-116.
- Feyerabend, P.K. (1975). *Against method. Outline of an anarchistic Theory of knowledge*. Londres: New Left Books. Traducción de D. Ribes (1981): *Tratado contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. Madrid: Tecnos.

- Gardner, P.L. (1999). The representation of science-technology relationships in Canadian physics textbooks. *International Journal of Science Education*, 21 (3), 329-347.
- Giere, R.N. (1988). *Explaining Science*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (1992). The cognitive construction of scientific knowledge. *Social Studies of Science*, 22, 95-107.
- Giere, R.N. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. En M. Izquierdo (Ed.): *Aportación de un modelo cognitivo de ciencia a la enseñanza de las ciencias*. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, 9-13.
- Giere, R.N. (1999b). Didáctica de la ciencia basada en el agente. Roles para la filosofía de la ciencia y las ciencias cognitivas. En M. Izquierdo (Ed.): *Aportación de un modelo cognitivo de ciencia a la enseñanza de las ciencias*. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, 5-7.
- Gil, D. (1993). Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.
- Gil, D. y Carrascosa, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236.
- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. México D.F.: Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM; Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM y Ed. Paidós.
- Hanson, N.R. (1958). *Patterns of Discovery. An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de E. García Camarero (1977): *Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*. Madrid: Alianza.
- Harres, J.B.S. y Porlán, R. (1999). La epistemología evolucionista de Stephen Toulmin y la enseñanza de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 39, 17-26.
- Heider, F. (1958). *The psychology of interpersonal relations*. Nueva York: Wiley.
- Hempel, C.G. (1965). *Aspects of scientific explanation*. MacMillan, Nueva York. Traducción de N. Míguez et al. (1979): *La explicación científica*. Buenos Aires: Paidós.
- Hodson, D. (1999). Trabajo de laboratorio como método científico: tres décadas de confusión y distorsión. *Revista de Estudios del Currículum*, 2 (2), 52-83.
- Kuhn, T.S. (1962). *The Structure of Revolutions*. Chicago, IL: University of Chicago Press. Traducción de A. Contín (1971): *La estructura de las revoluciones científicas*. México D.F.: F.C.E.
- Kuhn, T.S. (1983a). Commensurability, Comparability, Communability. En P.D. Asquith y T. Nickles (Eds.): *PSA 1982*, vol. 2, (pp. 669-688). East Lansing:

- Philosophy of Science Association. Traducción española: Conmensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad. En T.S. Kuhn (1989): *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, (pp. 95-135). Barcelona: Paidós.
- Kuhn, T.S. (1983b). Rationality and Theory Choice. *The Journal of Philosophy*, 80 (10), 563-570. Traducción española: Racionalidad y elección de teorías. En T.S. Kuhn (1989): *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, (pp. 137-151). Barcelona: Paidós.
- Kuhn, T.S. (1991). The Road Since Structure. En P.D. Asquith y T. Nickles (Eds.): *PSA 1990*, vol. 2, (pp. 3-13). East Lansing: Philosophy of Science Association. Traducción de F. Zamora Baño (1994): El camino desde 'La estructura': *Arbor*, 583, 27-46.
- Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes. Philosophical papers. Volume 1*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de J.C. Zapatero (1983): *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- Lakin, S. y Wellington, J. (1994). Who will teach the nature of science? Teachers' views of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education*, 16 (2), 175-190.
- Latour, B. y Woolgar, S. (1979). *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*. Londres: Sage. [2ª edición (1986). Princeton, NJ: Princeton University Press]. Traducción de E. Pérez Sedeño (1995): *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- Laudan, L. (1977). *Progress and its problems. Towards a Theory of scientific growth*. Los Ángeles, CA: University of California Press. Traducción de J. López Tapia (1986): *El progreso y sus problemas. Hacia una teoría del crecimiento científico*. Madrid: Encuentro.
- Laudan, L. (1990). *Science and Relativism. Some Key Controversies in the Philosophy of Science*. Chicago, IL: University of Chicago Press. Traducción de J.F. Álvarez (1993): *La ciencia y el relativismo. Controversias básicas en Filosofía de la Ciencia*. Madrid: Alianza.
- Laudan, L. (1996). *Beyond Positivism and Relativism. Theory, Method and Evidence*. Oxford: Westview Press.
- Lederman, N.G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (4), 331-359.
- Lederman, N. y O'Malley, M. (1990). Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use, and sources of change. *Science Education*, 74 (2), 225-239.
- Lederman, N. y Zeidler, D. (1987). Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teaching behavior? *Science Education*, 71 (5), 721-734.

- López-Rupérez, F. (1990). Epistemología y didáctica de las ciencias. Un análisis de segundo orden. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 65-73.
- Manassero, M.A. y Vázquez, A. (1998). *Opinions sobre ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació, Cultura i Esports.
- Manassero, M.A. y Vázquez, A. (2000). Creencias del profesorado sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 37, 187-208.
- Manassero, M.A., Vázquez, A. y Acevedo, J.A. (2001). *Avaluació de temes de ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació i Cultura.
- Marathé, E.V. (1994). *Science, Technology and Society*. St. Catharines: Author.
- Matthews, M.R. (1992a). History, Philosophy, and Science Teaching: The present rapprochement. *Europphysics Conference Abstracts*, 16 G, (pp. 23-59). International Conference on History of the Physical-Mathematical Sciences and the Teaching of Sciences, Madrid. Versión en español (1994a): Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 255-277.
- Matthews, M.R. (1992b). Old Wine in New Bottles: A Problem with Constructivist Epistemology. En H. Alexander (Ed.): *Philosophy of Education 1992*. Proceedings of the Forty-Eighth Annual Meeting of the Philosophy of Education Society, (pp. 303-311). Urbana, IL: Philosophy of Education Society. Versión en español (1994c): Vino viejo en botellas nuevas: un problema con la epistemología constructivista. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 79-88.
- Matthews, M.R. (1994b). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. Nueva York: Routledge.
- Matthews, M.R. (1998). In Defense of Modest Goals When Teaching about the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (2), 161-174.
- Mellado, V. y Carracedo, D. (1993). Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), 331-339.
- Meichtry, Y. (1993). The impact of science curricula on student views about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (5), 429-443.
- Monk, M. y Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81, 405-424.
- Nagel, E. (1961). *The Structure of Science*. Nueva York: Harcourt & Brace. Traducción de N.A. Míguez (1968): *La estructura de la ciencia*. Buenos Aires: Paidós.
- Niiniluoto, I. (1984). *Is Science Progressive?* Dordrecht: Reidel.
- Niiniluoto, I. (1991). Realism, Relativism, and Constructivism. *Synthese*, 89, 135-162.

- Olivé, I. (1992). El progreso científico y el cambio conceptual en las ciencias. *Arbor*, 556, 47-59.
- Osborne, J.F. (1996). Beyond constructivism. *Science Education*, 80(1), 53-82.
- Pérez-Ransanz, A.R. (1999). *Kuhn y el cambio científico*. México D.F.: F.C.E.
- Popper, K.R. (1958). *The logic of scientific discovery*. Londres: Hutchinson.
- Traducción de V. Sánchez de Zavala (1962): *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- Popper, K.R. (1972). *Objective Knowledge*. Oxford: Oxford University Press.
- Traducción española (1974): *Conocimiento objetivo*. Madrid: Tecnos.
- Porlán, R. (1990). Hacia una fundamentación epistemológica de la enseñanza. *Investigación en la Escuela*, 10, 3-32.
- Putnam, H. (1975). *Mind, Language and Reality. Philosophical Papers, vol 2*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Putnam, H. (1981). *Reason, Truth and History*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Traducción de J.M. Esteban Cloquell (1988): *Razón, verdad e historia*. Madrid: Tecnos.
- Putnam, H. (1987). *The many face of realism*. La Salle: Open Court Publishing Company.
- Traducción de M. Vázquez Campos y A.M. Liz Gutiérrez (1994): *Las mil caras del realismo*. Barcelona: Paidós.
- Quine, W.V.O. (1960). *Word and Object*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Traducción española (1968): *Palabra y objeto*. Barcelona: Labor.
- Radnitzky, G. y Andersson, G. (1982). ¿Hay criterios objetivos del progreso científico? En G. Radnitzky y G. Andersson (Eds.): *Progreso y racionalidad en la ciencia*, (pp. 12-28). Madrid: Alianza.
- Rebollo, M. (1998). Algunas visiones del profesorado de ciencias en formación inicial de Secundaria sobre la naturaleza de la ciencia. En E. Banet y A. de Pro (Eds.): *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias, Vol I*, (pp. 294-303). Murcia: DM.
- Ruggieri, R., Tarsitani, C. y Vicentini, M. (1993). The images of science of teachers in Latin countries. *International Journal of Science Education*, 15(4), 383-393.
- Sokal, A. y Bricmont, J. (1998). *Intellectual impostures*. Londres: Profile Books.
- [Original en francés, 1997]. Traducción de J.C. Guix Vilaplana (1999). *Imposturas intelectuales*. Barcelona: Paidós.
- Solbes, J. y Traver, M.J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la Física y Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 103-112.
- Suchting, W.A. (1992). Constructivism deconstructed. *Science & Education*, 1, 223-254.
- Suppe, F., Ed. (1974). *The structure of scientific theories*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Traducción de P. Castrillo y E. Rada (1979): *La estructura de las teorías científicas*. Madrid: Editora Nacional.
- Toulmin, S. (1953). *The Philosophy of Science. An introduction*. Hutchinson: Londres.

- Toulmin, S. (1972). *Human understanding. The collective use and evolution of concepts*. Princeton, NJ: Princeton University Press. Traducción de N.A. Míguez (1977): *La comprensión humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Universidad.
- Tuomela, R. (1985). *Science, Action, and Reality*. Dordrecht: Reidel.
- Usabiaga, C. (1987). En torno al método científico. Reflexiones didácticas sobre un método no didáctico. *Bordón*, 268, 405-420.
- Van Fraassen, B.C. (1980). *The Scientific Image*. Clarendon Press, Oxford. Traducción de S. Martínez (1996): *La imagen científica*. México D.F.: Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM; Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM y Ed. Paidós.
- Vázquez, A. y Manassero, M.A. (1998). Una propuesta de modelo integrado de aprendizaje como cambio conceptual, metodológico y actitudinal. En E. Banet y A. de Pro (Eds.): *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias, Vol I*, (pp. 148-158). Murcia: DM.
- Vázquez, J. (1997). Incommensurabilidad semántica y progreso científico. *Arbor*, 620, 323-345.
- Voltes, P. (1995). *Errores y fraudes de la Ciencia y la Técnica*. Barcelona: Planeta.
- Von Glasersfeld, E. (1987). An introduction to radical constructivism. En P. Watzlawick (Ed.): *The Invented Reality*, (pp. 17-40). Nueva York : Norton. Versión española (traducción del original en alemán, 1981) de N.M. de Machain, I.S. de Luque y A. Báez (1995): Introducción al constructivismo radical. En P. Watzlawick (Ed.): *La realidad inventada*, (pp. 20-37). Barcelona: Gedisa.
- Von Glasersfeld, E. (1995). Despedida de la objetividad. En P. Watzlawick y P. Krieg (Eds.): *El ojo del observador. Contribuciones al constructivismo*, (pp. 19-31). Barcelona: Gedisa. [Original en alemán, 1991].
- Wolpert, L. (1992). *The Unnatural nature of Science*. Londres: Faber & Faber Limited. Traducción de A. Linares (1994): *La naturaleza no natural de la ciencia*. Madrid: Acento Editorial.
- Young, B.J. y Kellogg, T. (1993). Science attitudes and preparation of preservice elementary teachers. *Science Education*, 77 (3), 279-291.
- Zamora, F. (1994). El último Kuhn. *Arbor*, 584, 9-25.