



IDEAS DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LA EPISTEMOLOGÍA DE LA CIENCIA: MODELOS, LEYES Y TEORÍAS

MARÍA ANTONIA MANASSERO MAS (*)
ÁNGEL VÁZQUEZ ALONSO (*)

RESUMEN. El desarrollo reciente de los estudios sociológicos y epistemológicos sobre la ciencia, basados en la historia de la ciencia, ha ido sugiriendo alternativas a la tradicional visión positivista de ésta, modificando algunas ideas sobre la naturaleza de la misma. Desde la perspectiva didáctica, los movimientos educativos que pretenden enseñar una ciencia asequible para todos los ciudadanos, conseguir una alfabetización científica y ofrecerla contextualizada con la tecnología y la sociedad, han convertido la comprensión de la naturaleza de la ciencia en un objetivo central de su enseñanza. En este marco, el estudio diagnostica las ideas de los estudiantes sobre la naturaleza de la ciencia referidas a los modelos, las leyes y las teorías de la misma, cuyo resultado principal es que éstas son multifacéticas, es decir, tienen aspectos muy variados, e incluso opuestos, con rasgos de inconsistencia. También recogen ideas más elaboradas, propias de una comprensión adecuada de la naturaleza de la ciencia, tales como la aceptación de la naturaleza cambiante, tentativa e inventada del conocimiento. Otras son eclécticas, intermedias, poco definidas, indecisas o poco convencidas, como en el caso de las observaciones, los supuestos de la ciencia y la simplicidad de las teorías. En todas las cuestiones aparecen bolsas de estudiantes con ideas inadecuadas, cuyo análisis ofrece especial relevancia desde una perspectiva educativa.

A lo largo del último siglo, la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia ha cambiado muchas ideas sobre la misma, como consecuencia de los análisis históricos, filosóficos y sociológicos de diferentes escuelas y autores. Por otro lado, aunque la investigación didáctica sobre la comprensión de la naturaleza de la ciencia data de hace más de tres décadas, la preocupación por educar a todos los ciudadanos en estas cuestiones es un objetivo escolar reciente, enmarcado en el concepto más general de

alfabetización científica de todos para potenciar la participación en un mundo crecientemente científico y tecnológico. Para enfocar adecuadamente este estudio, revisaremos los marcos teóricos y didácticos sobre la ciencia.

MARCO EPISTEMOLÓGICO

El inductivismo se basa en la observación abierta y libre de prejuicios de la naturaleza

(*) Universidad de las Islas Baleares.

za, concretando las observaciones en medidas, clasificaciones o enunciados singulares. Las leyes y teorías científicas son enunciados universales que se obtienen como generalización de las observaciones singulares, cuando se cumplen ciertas condiciones (gran número, diversidad de condiciones e inexistencia de observaciones contrarias) en lo que se denomina el principio de inducción. Aplicando la lógica y el razonamiento deductivo, las leyes y teorías permiten sacar consecuencias, que se utilizan como explicaciones y predicciones en la confirmación de teorías y las leyes. La concepción inductivista de la ciencia es atractiva porque ofrece una interpretación sencilla de la naturaleza de la ciencia que resalta la objetividad y la fiabilidad del conocimiento (por basarse directamente en la observación) y constituye la filosofía de la ciencia denominada positivismo lógico, sostenida desde el Círculo de Viena donde figuraron, entre otros, Carnap (1977) o Reichenbach (1966).

En 1934, Karl Popper planteó las primeras críticas serias al modelo del positivismo lógico basadas en la carga teórica de la observación y la imposibilidad de justificar lógicamente el salto inductivo. No sólo la psicología de la percepción demuestra que las sensaciones captadas están influidas por muchos factores como la experiencia, el conocimiento previo, las expectativas y el estado interno del observador, sino que el científico (o el aparato de medida) no observa (mide o clasifica) la realidad en el vacío, sino a través de unos anteojos que son sus propias hipótesis iniciales (o la teoría de construcción del aparato de medida) sobre lo que espera ver, de manera que la pretendida objetividad de la medida es relativa, en tanto en cuanto va siempre guiada por una teoría previa. Por tanto, la teoría estructura la observación y los datos desnudos carecen de una pretendida objetividad absoluta, son simplemente descripciones útiles en función de un proyecto concreto, de modo que la objetividad resi-

de en la institución social que sustenta el proyecto (Fourez, 1994). Desde el punto de vista lógico, el salto inductivo es injustificable y no garantiza la infalibilidad a sus generalizaciones; además, las condiciones de validez de la inducción no son objetivas, antes bien son vagas y equívocas y su cumplimiento se debe determinar apelando también al conocimiento teórico previo de la situación, de modo que la teoría desempeña un papel, esencial antes, durante y después de la observación (Popper, 1974).

Si el principio inductivo no es una base sólida del conocimiento científico, una hipótesis nunca está definitiva y absolutamente confirmada, por numerosos que sean los resultados favorables confirmatorios. En cambio, basta un sólo hecho contrario, o refutación, bien fundada, para que la credibilidad de la hipótesis quede dañada, si no definitivamente falsada, lo cual resalta la asimetría lógica entre refutación y confirmación en la validación empírica de las hipótesis. Las teorías se pueden falsar a la luz de las pruebas, esto es, se pueden rechazar concluyentemente, pero nunca se pueden considerar definitivamente confirmadas sean cuales sean las pruebas acumuladas, es decir son siempre provisionales. Una teoría será considerada tanto mejor cuanto mayor alcance de falsabilidad tenga y mayor número de falsaciones sea capaz de superar, por tanto, la práctica científica consiste en estimular las conjeturas más audaces y falsables, seguidas de intentos deliberados de falsarlas. La consecuencia más importante del falsacionismo es que el conocimiento es hipotético (conjeturas) y falsable (capaz de ser sometido a refutación empírica), siempre falible y provisional, nunca absoluto, ni definitivo. y que resulta tanto mejor cuanto más falsaciones haya superado y sea capaz de generar (Popper, 1974).

La línea post-falsacionista de Lakatos (1983) se centra en el concepto de programa de investigación, como conjunto de

teorías caracterizadas por una cierta continuidad entre sus elementos y un conjunto de reglas metodológicas que señalan las vías a seguir o a evitar. El programa está formado por un núcleo central de conocimientos, dura y tenazmente resistente a las refutaciones, rodeado de un cinturón protector de hipótesis auxiliares (heurística negativa) y una heurística positiva, como conjunto de sugerencias que guían el desarrollo del programa, cuyo objetivo es explicar fenómenos conocidos y conducir al descubrimiento de otros nuevos, mediante el desarrollo y refinamiento del cinturón protector refutable. En la medida en que un programa consigue este objetivo se habla de programas progresivos mientras que los programas que no lo consiguen se consideran degenerativos. La existencia de una línea de investigación coherente y la capacidad para descubrir fenómenos nuevos son las condiciones lakatosianas para ser un verdadero programa científico progresivo.

Cuando un programa está suficientemente desarrollado tanto las verificaciones como las falsaciones resultan importantes. Las anomalías entre las verificaciones o falsaciones y el programa no se atribuyen al núcleo central del programa, sino a cualquier otra de sus hipótesis auxiliares, cuyas modificaciones o adiciones que no sean *ad hoc* (es decir, que no estén implicadas en el conocimiento básico de la teoría y sean, a su vez, falsables) permite la mejora del programa. Cuando las anomalías son tales que requieren la modificación de la heurística negativa o núcleo de la teoría estamos ante una revolución kuhniana.

Con esta base, los dos análisis epistemológicos actuales más influyentes, como son el análisis lakatosiano, de corte falsacionista, y el análisis histórico de Kuhn son las cabezas visibles de un debate epistemológico que enfrenta las posiciones más racionalistas frente a las relativistas sobre los criterios de valoración y elección de una teoría científica (el criterio de validación del conocimiento).

La postura racionalista sostiene que existen criterios racionales para decidir cuestiones como elegir la mejor teoría o distinguir ciencia y no ciencia. Los racionalistas más radicales sostendrían la existencia de un criterio único y universal, por tanto, intemporal y ahistórico que permite tomar aquellas decisiones; este sería el caso de los inductivistas (cuyo criterio sería el apoyo inductivo) y los falsacionistas (cuyo criterio sería el grado de falsabilidad). La concepción racionalista cree en la existencia de conocimiento verdadero, aquel aceptado según el criterio universal y la existencia de una distinción nítida (criterio de demarcación) entre ciencia y no ciencia.

La postura relativista niega la existencia de un criterio universal para validar el conocimiento. Las descripciones del progreso científico y los criterios de evaluación del conocimiento científico son dependientes del individuo o la comunidad que los juzga, de modo que las decisiones y elecciones estarán influidas por los valores de esos individuos o grupos. De aquí se deduce que el conocimiento científico está influido por factores adicionales como la propia psicología, en el caso de las decisiones individuales, o sociología, en el caso de las decisiones comunitarias. El relativista afirma la relatividad de la verdad y niega la existencia de una única ciencia que sea superior a los demás conocimientos. El debate entre racionalismo y relativismo ha sido resumido en una descripción feliz por Chalmers (1993, p. 156) diciendo que «Lakatos pretendía dar una explicación racionalista de la ciencia pero fracasó, mientras que Kuhn negaba que pretendiera dar una explicación relativista de la ciencia, pero, sin embargo, la dió».

Otro de los aspectos conceptuales fundamentales de las teorías científicas se refiere a su relación con el mundo natural, al cual se pretenden aplicar para describirlo y explicarlo, es decir, al tipo de vínculo entre la naturaleza y el conocimiento de ella. La

controversia ha girado en torno a dos interpretaciones diferentes, que se suelen denominar realismo e instrumentalismo, y aunque ambas aspiran a describir la naturaleza lo más correctamente posible, resaltan, ponen de manifiesto y conducen a consecuencias epistemológicas enfrentadas sobre el concepto de verdad de las teorías científicas.

La interpretación realista de las teorías científicas sostiene que éstas describen el mundo tal como realmente es, es decir, confiere existencia real en la naturaleza a los *objetos científicos*, aunque estén más allá de la percepción u observación. Los postulados del realismo conducen a una separación artificial entre conceptos teóricos, cuya existencia es ficticia, y enunciados observacionales, cuya existencia sería real, y a una idea de verdad/falsedad asociada a la validación de las teorías científicas: una teoría validada como verdadera muestra la naturaleza tal como es, por tanto, el mundo es como propone la teoría y el carácter de verdad tiene una existencia objetiva.

La concepción instrumentalista sostiene que una teoría es una regla o principio para analizar representar simbólicamente materiales de la experiencia en bruto o un instrumento para inferir enunciados de observación a partir de otros enunciados de observación. Los elementos de la teoría son solo ficciones mentales que nos permiten relacionar diferentes estados observables en la naturaleza (Nagel, 1961). Como toda representación, las teorías son invenciones del espíritu humano que las construye, con el proyecto de organizar e interpretar las percepciones del mundo. Complementariamente, esto significa que las leyes no se descubren en los datos observacionales (como si tuvieran una existencia previa e independiente en ellos, hasta el momento de su descubrimiento), puesto que éstos no las determinan unívocamente; las teorías se inventan, como una nueva manera de interpretar las cosas más

fecundamente. La naturaleza inventada de las teorías científicas hace que deban ser construidas por referencia a conceptos previos, lo cual lleva a que toda teoría científica tenga un alto grado de metáfora, es decir, de analogía con otros conceptos previamente construidos, a los que la construcción científica global les dota de un significado más preciso y adaptado a las necesidades del conocimiento, que los vuelve más fecundos. En esta línea están los denominados conceptos nómadas, esto es, conceptos tomados prestados de otras disciplinas que no sólo hacen evidente el carácter metafórico de las teorías sino que con frecuencia condicionan la evolución de la disciplina que los toma (Stengers, 1987). El concepto de verdad asociado al instrumentalismo es restringido, ya que las teorías son juzgadas por el grado de utilidad como instrumentos para describir adecuadamente la naturaleza, de modo que permite justificar la existencia de teorías muy diferentes sobre el mismo ámbito, de formulaciones diferentes de la misma teoría, y la dificultad de conciliar la existencia de la verdad absoluta escrita en la naturaleza con el carácter social de la ciencia.

MARCO DIDÁCTICO

Los primeros intentos de medir las concepciones de los alumnos sobre la naturaleza de la ciencia datan de los años cincuenta: Wilson (1954) valida un cuestionario (*Science Attitude Questionnaire*) con una muestra de sólo 43 alumnos y Mead y Metraux (1957) con una muestra gigantesca de 35.000 respuestas (citados en Lederman, 1992) encuentran resultados similares, apareciendo ya la idea de ciencia como un conocimiento absoluto y que los científicos pretenden descubrir las leyes y verdades de la naturaleza. Posteriormente aparecieron el *Test On Understanding Science* (TOUS) desarrollado por Cooley y Klopfer (1961) y la escala *Nature of Science*

Scale (NOSS) de Kimball (1965) de 29 ítems tipo Likert, basada en el modelo de la ciencia desarrollado por el autor. Rubba (1976) desarrolló la *Nature of Scientific Knowledge Scale* (NSKS) con 48 ítems tipo Likert con seis subescalas (amoral, creativo, evolutivo, parsimonioso, comprobable y unificado). Las investigaciones desarrolladas sobre la comprensión de la naturaleza de la ciencia por los alumnos en aplicación de algunos de los instrumentos anteriores (Cooley y Klopfer, 1961; Korth, 1969; Rubba y Andersen, 1978) coinciden en que los estudiantes exhiben una comprensión inadecuada de la misma.

Entre los estudios que han encontrado resultados esperanzadores se puede considerar pionero el estudio de Aikenhead (1979) empleando el inventario de Welch (1966) y el test de Korth (1969) con alumnos de grados 11 y 12, y que obtuvo ganancias significativas entre las puntuaciones pre- y post-tests de ambos instrumentos. Con posterioridad, Lederman (1986), usando la escala NSKS de Rubba, empezó a poner en duda la creencia popular que profesores y alumnos tuvieran concepciones inadecuadas de la naturaleza de la ciencia, y en un estudio subsiguiente, más amplio y profundo y combinando pruebas con entrevistas, Lederman y O'Malley (1990) encuentran que los estudiantes asumen, por ejemplo, el concepto de provisionalidad del conocimiento científico, pero sorprendentemente, son incapaces de identificar las causas de este cambio, que desde luego no está relacionado con la instrucción escolar.

Una explicación de las diferencias entre estos estudios sobre la naturaleza de la ciencia puede deberse a las diferentes concepciones epistemológicas empleadas como base de los estudios (Meichtry, 1993), mientras la otra se centraría en el empleo de muestras sesgadas, en particular el uso mayoritario o predominante de estudiantes de ciencias (Lederman, 1986), o muy especializados (Rubba, Horner, y Smith, 1981).

Especialmente los primeros estudios han sido criticados desde dos perspectivas: una conceptual, por los modelos de ciencia empleados, muchos de los cuales han quedado obsoletos por el desarrollo de los análisis epistemológicos y sociológicos de la ciencia de la década de los ochenta, por ejemplo, y otra metodológica, ya que los defectos psicométricos de los instrumentos aplicados podrían invalidar sus resultados (Gardner, 1996).

Con motivo de un estudio previo (Vázquez y Manassero, 1998) se ha revisado parte de la literatura que estudia las ideas del alumnado sobre la naturaleza de la ciencia, de modo que aquí sólo se revisarán algunos estudios nuevos más recientes. Se ha de advertir que esta literatura es compleja pues algunos estudios mezclan análisis de la imagen de la ciencia, actitudes hacia la ciencia, imagen de las asignaturas de ciencias, imagen de los científicos, etc. Un hito en los estudios sobre la naturaleza de la ciencia es la revisión de Lederman (1992) que resume los trabajos realizados anteriores a la década de los noventa. Aquí se revisará sólo la literatura posterior, no redundante con esos trabajos y referida a los aspectos de la naturaleza de la ciencia considerados en el marco teórico expuesto (naturaleza de las teorías científicas), en los cuales, por ejemplo, no figuran aspectos referidos al método científico.

Leach, Driver, Millar y Scott (1997) estudiaron la naturaleza de las explicaciones, de la investigación y la relación entre teoría y evidencia mediante una serie de cuestiones que aplicaron a estudiantes de 9, 12 y 16 años que además justificaron sus respuestas. En sus razonamientos, los estudiantes no distinguen la explicación de la descripción, ni la evidencia de la teoría; la forma de razonar indica que la explicación se interpreta como un proceso de relacionar variables causalmente y la teoría surge directamente de la experiencia. Las diferencias según la edad son notables en al-

gunas cuestiones; por ejemplo, cuanto más jóvenes son menos problemas ven en la verificación de una hipótesis.

Roth y Lucas (1997) analizaron las respuestas acuerdo/desacuerdo sobre una batería de frases y los razonamientos orales y escritos de 23 estudiantes de bachillerato sobre ontología, epistemología y sociología del conocimiento científico. Entre el inicio y el final del estudio (dos cursos, 15 meses) los estudiantes incrementaron el número de repertorios interpretativos (recursos para apoyar sus ideas) empleados para justificar sus puntos de vista sobre los temas. Además, muy pocos estudiantes cambiaron sus creencias ontológicas (orden inherente frente a ningún orden supuesto) y sociológicas (influencia de la sociedad sobre el conocimiento científico), pero bastantes cambiaron sus creencias epistemológicas (realismo frente instrumentalismo) desde el realismo al instrumentalismo.

En las respuestas a cuestiones escritas por alumnos de 16-18 años, Acevedo (1992) encuentra que se adhieren mayoritariamente a una visión realista del conocimiento científico y no tienen claro si el conocimiento científico correcto de hoy puede cambiar en el futuro, mientras que en alumnado en formación para ser profesores de Ciencias de Secundaria, informa que conviven concepciones adecuadas con otras incorrectas sobre las relaciones CTS, como una cierta visión neutral de la ciencia (Acevedo, 1994).

Solomon, Duveen y Scott (1994) recogieron datos a lo largo de un curso sobre cómo cambiaban las ideas de los estudiantes, encontrando un progreso sustancial hacia un concepto de explicación gracias a las narraciones de historia de la ciencia empleadas en la enseñanza, aunque aparecen divergencias sobre el significado de la palabra explicar.

Solomon, Scott y Duveen (1996) realizaron una exploración a gran escala de la comprensión de la naturaleza de la ciencia

por los estudiantes de 15 años centrada en las ideas sobre las teorías científicas, cómo cambian y cómo se relacionan teoría y experimentos. La idea de búsqueda de explicaciones sustituye mayoritariamente a la idea ingenua de que los descubrimientos son producidos por la suerte, encontrada en otros estudios en edades más tempranas, y los autores atribuyen este cambio positivo a la forma en que el profesorado relaciona el trabajo práctico con la teoría. Relacionando las respuestas cruzadas a las distintas cuestiones sugieren patrones de *explicadores* y un pequeño grupo de *imaginadores* (los científicos usan su imaginación).

Gilbert (1991) investigó las ideas de estudiantes universitarios de ciencias (20 años) solicitando su acuerdo/desacuerdo con frases de la primera versión del VOSTS (Aikenhead, Ryan y Fleming, 1987) y una justificación escrita de su posición. Los estudiantes aceptan mayoritariamente (45%) el error en ciencia como parte de una creencia general en que el error forma parte de la actividad humana. Los datos sobre la controversia realismo/instrumentalismo no puede resolverse porque la redacción empleada en el cuestionario sugiere una comprensión equivocada por los estudiantes, lo cual provoca respuestas incoherentes de los estudiantes y hace imposible extraer conclusiones fiables.

Ryan y Aikenhead (1992), con un nuevo instrumento construido empíricamente que pretende superar algunos de los defectos metodológicos de otros instrumentos, han estudiado las preconcepciones sobre la epistemología de la ciencia en una muestra grande de estudiantes canadienses de grados 11 y 12. Sobre la naturaleza real o epistemológica de las teorías científicas los estudiantes muestran ideas de ingenuo realismo cuando se refieren a los modelos, que se vuelven más epistemológicas cuando se refieren a los esquemas de clasificación. Cuando se compara el descubrimiento con la invención de las teorías científicas

se reproduce la minoría epistemológica de los modelos, con una mayor proporción de realistas, aunque el grueso se sitúa en una posición ecléctica o intermedia.

Este estudio tiene como objetivo diagnosticar las ideas de los estudiantes sobre cuestiones centrales de la epistemología científica como son la naturaleza de las observaciones, los modelos y los esquemas de clasificación científicos así como la naturaleza de los conceptos, las leyes, hipótesis y teorías científicas y su provisionalidad. Estos aspectos son una parte de un tema más general que se conoce con el nombre de naturaleza de la ciencia en la literatura didáctica, y que a veces incluye también cuestiones más propias de la sociología interna de la ciencia.

MÉTODO

INSTRUMENTO

Las cuestiones aplicadas en este estudio están extraídas del banco de cuestiones de elección múltiple elaboradas por Aikenhead, Ryan y Fleming (1989). Todas ellas se aplicaron dentro de un estudio más amplio, estructurado en seis cuestionarios diferentes, del cual se han extraído nueve aspectos sobre la naturaleza del conocimiento científico, cuyos resultados se ofrecen en este estudio. Estos nueve aspectos se refieren a los siguientes temas: carga teórica de las observaciones (90111), naturaleza de los modelos científicos (90211) y de los esquemas de clasificación (90311), provisionalidad del conocimiento (90411), relaciones entre hipótesis, teorías y leyes (90511), verdad y errores (90521), elegancia (90531) y simplicidad (90541) de las teorías y leyes (91011) y el estatus epistemológico del conocimiento científico (realista frente a instrumentalista). Debido a las limitaciones de espacio no se pueden ofrecer todos los detalles de los resultados que

pueden consultarse en otro lugar (Vázquez y Manassero, 1997).

PROCEDIMIENTO

Los seis tipos distintos de cuestionarios originales se aplicaron colectivamente, en los grupos clase de los alumnos que forman la muestra, balanceando en cada grupo de aplicación el tipo de cuestionario y el género, mediante una distribución dirigida, pero aleatoria, de cada tipo de cuestionario entre hombres y mujeres. Cada cuestión se inicia con un pie de unas pocas líneas, donde se plantea un problema sobre el cual se desea conocer la opinión del encuestado, seguido de una lista de alternativas, identificadas con letras correlativas, que ofrecen todo un abanico de diferentes posiciones sobre el tema planteado, y además tres opciones fijas que contienen diversas razones para no contestar (alternativas no actitudinales): *No entiendo la cuestión*, *No sé lo suficiente sobre el tema para seleccionar una opción* y *Ninguna de las opciones satisface básicamente mi opinión*. Los estudiantes seleccionan la opción que refleja la actitud más acorde con su propia opinión.

Las opiniones y actitudes relacionadas con los temas científicos dependen de diversas variables, entre las cuales la cantidad de educación científica recibida es central. La cantidad de educación científica recibida se ha operacionalizado en una variable cuantitativa denominada exposición a la ciencia, cuya puntuación es proporcional a la cantidad y calidad de las materias científicas cursadas por cada persona a lo largo de su currículo personal; esta variable se ha *colapsado* para dividir la muestra en tres grupos de alta, media y baja exposición a la ciencia. Sería plausible esperar que las diferencias según el grado de exposición a la ciencia fueran importantes; en particular, se podrían conjeturar diferencias generalizadas entre los grupos de

baja, media y alta exposición a la ciencia. En el estudio original se ofrecen datos más amplios relativos a las diferencias entre los grupos de género, de la formación científica o de la edad comparando las proporciones de las distribuciones de respuestas en cada uno de los subgrupos. Las diferencias según las otras variables se han estudiado controlando la variable exposición a la ciencia, pues no tendría sentido comparar, por ejemplo, chicos y chicas, si ambos grupos difieren significativamente en el grado de exposición a la ciencia (se usará el estadístico chi-cuadrado; $p < .05$).

MUESTRA

La selección de participantes se hizo por grupos-clase, para facilitar la aplicación de los cuestionarios; la selección de grupos se hizo al azar entre todos los niveles existentes en ese momento y aproximadamente proporcional a la población de cada estrato, ante la inexistencia de datos estadísticos previos seguros (muestreo estratificado con afijación aproximadamente proporcional). Las directrices aplicadas en la selección de la muestra han buscado la representatividad de cada uno de los niveles de enseñanza, pero la compleja situación de la diversidad de estudios y modalidades en las enseñanzas medias en el momento del trabajo de campo, debido al proceso de implantación anual de los estudios de reforma, provocaba cambios significativos anuales impredecibles de las poblaciones, que impidieron un diseño muestral previo en este nivel. La muestra total es de 4,132 estudiantes de secundaria y universitarios, con una edad mínima de 14 años, mientras que el 95% de la muestra tiene edades entre 14 y 27 años y las mujeres son mayoría (59%). La distribución por niveles educativos es la siguiente: licenciados (9%), universitarios (34%), y preuniversitarios (57% de secundaria y bachillerato). Los alumnos universitarios se distribuyen

entre humanidades y ciencias sociales (69%), matemáticas e ingenierías (14%) y ciencias experimentales (17%), los alumnos preuniversitarios que cursan opciones de ciencias son el 53% del total que han realizado esta opción en bachillerato. El número de estudiantes que contestó cada uno de los seis cuestionarios, aunque ligeramente variable según el cuestionario debido a mortalidad experimental, se sitúa aproximadamente en torno a las 700 personas.

RESULTADOS

Se describen las respuestas dadas por los estudiantes a cada una de las nueve cuestiones planteadas sobre la naturaleza del conocimiento científico.

OBSERVACIÓN CIENTÍFICA

La carga de teoría existente en las observaciones factuales es una de las críticas más tempranas de las distintas corrientes epistemológicas frente al positivismo que se plantea aquí en la forma de la influencia de las diferentes orientaciones teóricas sobre las observaciones de los científicos. El alumnado responde a esta cuestión mayoritariamente (más de un tercio) con una actitud intermedia (no diferirán mucho porque los científicos son competentes), situada entre la postura positivista más dura reflejada en otras dos opciones, los hechos son evidentes o exactos, (menos de un quinto), y el reconocimiento de la carga teórica de las observaciones en el otro extremo (otro quinto). La alternativa intermedia, no obstante, refleja una actitud neopositivista dulcificada, no justificando con claridad las diferencias en función de diferencias teóricas sino que justifica más bien la igualdad teniendo en cuenta la competencia de los científicos. Por ello, se puede considerar que la actitud global del alumnado es más proclive a una actitud positivista que a no reconocer la carga teórica de las observaciones.

TABLA I

Porcentajes y frecuencias de respuestas de los estudiantes sobre las observaciones científicas. Casos válidos: 703

90111 *Las observaciones científicas hechas por científicos competentes serán diferentes si los científicos creen en diferentes teorías*

A.	Sí, porque los científicos harán <i>experimentos</i> diferentes y verán cosas diferentes.	12,7%	A.	██████████	89
B.	Sí, porque los científicos <i>pensarán</i> de manera diferente y esto alterará sus observaciones.	18,5%	B.	██████████████████	130
C.	Las observaciones científicas <i>no diferirán</i> mucho aún cuando los científicos creen en teorías diferentes. Si los científicos son realmente <i>competentes</i> sus observaciones serán similares.	38,8%	C.	██████████████████	273
D.	No, porque las observaciones son tan exactas como sea posible. Así es como la ciencia ha sido capaz de avanzar.	8,8%	D.	██████████	62
E.	No, las observaciones son exactamente lo que vemos y nada más; son los hechos.	10,4%	E.	██████████████	73
1.	No lo entiendo.	3,0%	1.	██████████	21
2.	No sé lo suficiente sobre este tema para elegir una opción.	4,8%	2.	██████████	34
3.	Ninguna de estas opciones satisface básicamente mi opinión.	3,0%	3.	██████████	21

No existen diferencias estadísticamente significativas en las respuestas a esta cuestión entre los diferentes grupos de la muestra con la excepción de los grupos de edad dentro del subgrupo de baja exposición a la ciencia.

MODELOS CIENTÍFICOS

La ciencia construye teorías y modelos para describir y explicar la naturaleza, y se plantea al alumnado cuál es la naturaleza de estos modelos, en particular, si los modelos son, o no, copias de la realidad. La alternativa más elegida (un tercio) sostiene que son copias de la realidad, pero aproximadas, mientras las tres alternativas que reflejan el reconocimiento de los modelos como copias verdaderas de la realidad recibe un respaldo también importante (un cuarto). Las alternativas más epistemológi-

cas que sólo ven en los modelos instrumentos útiles, pero limitados, cambiantes con el tiempo, o conjeturas bien informadas, reciben un apoyo de otro cuarto de la muestra. Por tanto, se puede decir que la actitud dominante del alumnado es marcadamente realista, y aunque una gran mayoría reconoce su naturaleza aproximada, se puede considerar que fallan en captar el carácter instrumental, cambiante e hipotético de los modelos.

Las diferencias en esta cuestión son generalizadas entre las variables de grado de exposición a la ciencia, edad o género. Las diferencias según el grado de exposición a la ciencia se centran en la alternativa mayoritaria, más seleccionada por el grupo de exposición a la ciencia media y menos por el grupo bajo y en las respuestas no actitudinales, donde los grupos bajo y medio concitan más respuestas que el grupo de alta exposición a la ciencia. Las

diferencias de género aparecen en el grupo de baja exposición a la ciencia, donde los chicos eligen menos que las chicas la alternativa mayoritaria, mientras estas utili-

zan más las alternativas no actitudinales. Finalmente, también son significativas las diferencias de edad en los grupos de alta y baja exposición a la ciencia.

TABLA II
Porcentajes y frecuencias de respuestas de los estudiantes sobre los modelos científicos.
Casos válidos: 657

90211 Muchos modelos científicos usados en los laboratorios de investigación (tales como el modelo del calor, de las neuronas, el DNA o el átomo) son copias de la realidad

Los modelos científicos SON copias de la realidad:			
A.	Porque los científicos dicen que son verdaderos, por tanto deben serlo. 1,8%	A. ██████████	12
B.	Porque hay muchas evidencias científicas que prueban que son verdaderos. 9,0%	B. ██████████	59
C.	Porque son verdaderos para la vida. Su objetivo es mostrarnos la realidad o enseñarnos algo sobre ella. 15,7%	C. ██████████	103
D.	Los modelos científicos son muy aproximadamente copias de la realidad, porque están basados en observaciones científicas e investigación. 33,6%	D. ██████████	221
Los modelos científicos NO son copias de la realidad:			
E.	Porque simplemente son útiles para aprender y explicar, dentro de sus limitaciones. 7,9%	E. ██████████	52
F.	Porque cambian con el tiempo y con el estado del conocimiento, como lo hacen las teorías. 12,3%	F. ██████████	81
G.	Porque estos modelos deben ser ideas o conjeturas bien informadas, ya que el objeto real no se puede ver. 5,2%	G. ██████████	34
1.	No lo entiendo. 3,0%	1. ██████	20
2.	No sé lo suficiente sobre este tema para elegir una opción. 9,3%	2. ██████████	61
3.	Ninguna de estas opciones satisface básicamente mi opinión. 2,1%	3. ████	14

ESQUEMAS DE CLASIFICACIÓN

Cuando la naturaleza realista o epistemológica se aplica a los sistemas de clasificación utilizados por los científicos, la actitud

del alumnado es muy diferente de la sostenida respecto a los modelos. La alternativa mayoritaria (casi un tercio) comienza con una sentencia que niega el realismo y justifica la existencia de múltiples sistemas de

clasificación; la segunda alternativa en importancia (casi un cuarto) es muy semejante a la anterior, ya que admite la multiplicidad de los sistemas de clasificación, pero subraya un poco más el carácter convencional y consensual de las clasificaciones científicas. La tercera alternativa en orden de importancia (casi un quinto) es también mentalista, justificada por la necesidad de

que nuevos descubrimientos lleven a nuevas clasificaciones. Las alternativas realistas tienen un apoyo menor. En suma, la actitud del alumnado respecto a los sistemas de clasificación científicos es más claramente instrumentalista, es decir, consideran que los sistemas de clasificación son convenciones consensuadas, útiles, inventadas y provisionales.

TABLA III

Porcentajes y frecuencias de respuestas de los estudiantes sobre los esquemas de clasificación científica. Casos válidos: 647

90311 Cuando los científicos clasifican algo (por ejemplo, una planta de acuerdo con sus especies, o una estrella de acuerdo con su tamaño), los científicos están clasificando la naturaleza de acuerdo con la forma real de la naturaleza: cualquier otra forma sería simplemente errónea.

A.	Las clasificaciones se ajustan a la forma real de la naturaleza, ya que los científicos las han probado a lo largo de muchos años de trabajo.	5,7%	A. ██████████	37
B.	Las clasificaciones se ajustan a la forma real de la naturaleza, ya que los científicos usan las características observables cuando clasifican.	5,4%	B. ██████████	35
C.	Los científicos clasifican la naturaleza en la forma más simple y lógica, pero esta forma no es necesariamente la única.	9,0%	C. ██████████	58
D.	Existen muchas formas de clasificar la naturaleza, pero poniéndose de acuerdo en un sistema universal esto permite a los científicos evitar la confusión en su trabajo.	22,4%	D. ██████████	145
E.	Podrían existir otras formas correctas de clasificar la naturaleza, porque la ciencia es susceptible de cambiar y los nuevos descubrimientos pueden llevar a nuevas clasificaciones.	18,2%	E. ██████████	118
F.	Nadie sabe la forma en que la naturaleza realmente es. Los científicos clasifican de acuerdo con sus percepciones o teorías. La ciencia no es exacta, y la naturaleza es muy diversa. Por tanto, los científicos podrían usar más de un esquema de clasificación.	30,1%	F. ██████████	195
1.	No lo entiendo.	2,2%	1. ██████████	14
2.	No sé lo suficiente sobre este tema para elegir una opción.	5,1%	2. ██████████	33
3.	Ninguna de esta opciones satisface básicamente mi opinión.	1,9%	3. ██████████	12

No existen diferencias estadísticamente significativas en las respuestas a esta cuestión entre los diferentes grupos de la muestra con la excepción de los grupos de edad dentro del subgrupo de baja exposición a la ciencia, resultado que contrasta con las diferencias encontradas en la cuestión anterior, muy semejante a ésta.

PROVISIONALIDAD

Aunque la cuestión anterior ha demostrado, para las clasificaciones, que el alumnado reconoce parcialmente su cambio y capta su evolución, en esta nueva cuestión la naturaleza cambiante y provisional es aplicada al conocimiento científico en general. La provisionalidad del conocimiento se plantea desde la perspectiva de los modelos de cambio sugeridos por diversas corrientes epistemológicas: el relevo generacional de los científicos,

los nuevos descubrimientos, las nuevas interpretaciones antiguas y el carácter acumulativo del conocimiento. La alternativa mayoritaria (casi la mitad del alumnado) recoge la importancia de los nuevos descubrimientos para reinterpretar el viejo conocimiento, además, reconociendo que los hechos científicos también pueden cambiar. La segunda actitud dominante (un quinto) respecto al cambio científico es acumulativa, el conocimiento cambia porque continuamente se están agregando elementos nuevos. Un poco menos de apoyo se reciben las reinterpretaciones de viejos hechos, pero manteniendo la fe en que los hechos son invariables y, el relevo, generacional (mezclado con detección de errores y nuevas técnicas). En suma, se puede decir que los estudiantes reconocen el carácter cambiante del conocimiento científico, aunque casi un tercio consideran que el cambio es más aparente que real.

TABLA IV

Porcentajes y frecuencias de respuestas de los estudiantes sobre el carácter cambiante del conocimiento científico. Casos válidos: 660

90211 *Aun cuando las investigaciones científicas se hacen correctamente, el conocimiento que los científicos descubren con esas investigaciones puede cambiar en el futuro*

El conocimiento científico cambia:			
A.	Porque los científicos <i>jóvenes desaprueban</i> las teorías o descubrimientos de los científicos viejos. Los científicos hacen esto usando nuevas técnicas o instrumentos mejorados, para encontrar nuevos factores pasados por alto antes, o para detectar errores en la correcta investigación original. 13.3%	A.	██████████ 88
B.	Porque el conocimiento viejo es <i>reinterpretado</i> a la luz de nuevos descubrimientos. Los hechos científicos pueden cambiar. 44.1%	B.	██████████ 291
C.	El conocimiento científico PARECE cambiar porque la <i>interpretación</i> o la aplicación de viejos hechos puede cambiar, pero los experimentos realizados <i>correctamente producen hechos invariables</i> . 14.2%	C.	██████████ 94
D.	El conocimiento científico PARECE cambiar porque el nuevo conocimiento es <i>añadido sobre</i> el viejo conocimiento. El viejo conocimiento no cambia. 19.4%	D.	██████████ 128
1.	No lo entiendo. 2.0%	1.	██████ 13
2.	No sé lo suficiente sobre este tema para elegir una opción. 4.2%	2.	██████ 28
3.	Ninguna de estas opciones satisface básicamente mi opinión. 2.7%	3.	██████ 18

En esta cuestión, las diferencias entre las variables de grado de exposición a la ciencia, edad o género son generalizadas. Las diferencias según el grado de exposición a la ciencia se centran en la alternativa mayoritaria, seleccionada crecientemente cuando aumenta el grado de exposición a la ciencia, mientras que la alternativa acumulativa se selecciona decrecientemente según el grado de exposición a la ciencia, como en cuestiones anteriores, los grupos bajo y medio concitan más respuestas no actitudinales que el grupo de alta exposición a la ciencia. Las diferencias de género aparecen en el grupo de baja exposición a la ciencia, donde los chicos eligen más que las chicas la última alternativa acumulativa, mientras estas utilizan más las alternativas no actitudinales. Finalmente, también son significativas las diferencias de edad en el grupo de baja exposición a la ciencia.

HIPÓTESIS, TEORÍAS Y LEYES

El cuerpo de conocimientos de la ciencia es un sistema proposiciones que realizan diversas afirmaciones sobre la naturaleza y sobre las relaciones con otras afirmaciones conformando entramados relacionales denominados teorías; las proposiciones singulares o conjuntos singulares de proposiciones se denominan hipótesis o leyes. Las cuatro cuestiones siguientes, cuyos resultados se describen en cada uno de los cuatro párrafos siguientes, tratan las relaciones entre hipótesis, teorías y leyes (90511), la verdad y los errores (90521), la elegancia (90531) y la simplicidad (90541) de las teorías y leyes.

El estatus epistemológico de hipótesis, teorías y leyes es planteado desde una perspectiva evolutiva. La base de la cuestión afirma que hipótesis, teorías y leyes constituyen estadios sucesivos del desarrollo de una idea científica. La mayoría del alumnado (más de la mitad) está de acuerdo básicamente con la cuestión, seleccionando las dos primeras alternativas, que

establecen una opinión acorde con la frase del principio; el grado creciente de comprobación alcanzado por una idea es lo que determina su evolución desde hipótesis a leyes. Por tanto, la opinión mayoritaria del alumnado es favorable a la idea ingenua de que las leyes son *teorías maduras*. Una minoría (casi un cuarto) opina que leyes y teorías no pueden convertirse en leyes porque ambas son ideas de distinta clase, bien porque no se puede probar que una teoría sea verdadera en la misma medida que una ley, o bien porque se considera que las leyes son puramente descriptivas, mientras que las teorías son explicativas. En todo caso, el planteamiento originario, sugiriendo directamente una perspectiva evolutiva, puede haber contaminado las respuestas favorables a esta tesis, de modo que parte de la opinión mayoritaria pueda deberse a un efecto de contagio o inducción desde la formulación inicial. Tal vez una reformulación más neutral de la misma podría ser más adecuada para plantear este tema.

Las diferencias en esta cuestión según el grado de exposición a la ciencia se centran en las dos alternativas mayoritarias, ya que el grupo de alta exposición a la ciencia elige más la primera versión (A) evolutiva de las hipótesis, y el grupo medio elige más la segunda versión (B), y en las respuestas no actitudinales, donde los grupos bajo y medio concitan más respuestas que el grupo de alta exposición a la ciencia.

Los supuestos de una teoría son una forma adicional de volver a plantear la provisionalidad del conocimiento científico desde su valor de verdad. La opinión mayoritaria del alumnado (casi la mitad) considera que el valor de verdad condiciona el progreso, aunque el descubrimiento de la falsedad de algunos de los supuestos realizados por la ciencia no siempre ha constituido una interrupción del progreso, sino todo lo contrario. No obstante, otras dos opciones relevantes mantienen una la creencia en la necesidad de la veracidad absoluta de los supuestos de la ciencia, y

la otra viene a ser una paráfrasis de la famosa frase atribuida de sir Isaac Newton *hypotheses non fingo*. En suma, las res-

puestas a esta cuestión muestran que el alumnado admite la existencia de errores en la ciencia que resultan fructíferos.

TABLA V
Porcentajes y frecuencias de respuestas de los estudiantes sobre las hipótesis, teorías y leyes científicas. Casos válidos: 700

90511 *Las ideas científicas se desarrollan desde hipótesis hasta teorías, y finalmente, si son suficientemente buenas, hasta constituir leyes*

Las hipótesis pueden conducir a teorías que pueden llevar a leyes:			
A.	Porque una hipótesis se comprueba con experimentos. Si se <i>prueba</i> que es correcta, llega a ser una teoría. Después que una teoría se ha <i>probado</i> verdadera varias veces por diferentes personas y que se maneja durante largo tiempo, se convierte en ley.	29,4%	A. ██████████ 206
B.	Porque una hipótesis se comprueba con experimentos. Si existe <i>evidencia que la apoya</i> , es una teoría. Después que una teoría se ha comprobado muchas veces y parece ser <i>esencialmente correcta</i> , es suficiente para llegar a ser una ley.	21,3%	B. ██████████ 149
C.	Porque es una manera lógica para desarrollar las ideas científicas.	9,6%	C. ██████████ 67
D.	Las teorías no pueden convertirse en leyes porque ambas son ideas de distinta clase. Las teorías se basan en ideas científicas que son ciertas en menos del 100%, y por eso <i>no se puede probar</i> que las teorías sean verdaderas. Las leyes, sin embargo, están sólo basadas en hechos y son seguras al 100%.	10,4%	D. ██████████ 73
E.	Las teorías no pueden convertirse en leyes porque ambas son ideas de distinta clase. Las leyes <i>describen</i> fenómenos naturales. Las teorías <i>explican</i> fenómenos naturales. Por tanto las teorías no pueden convertirse en leyes; sin embargo, con evidencias que las apoyen, las hipótesis pueden convertirse en teorías (explicaciones) o leyes (descripciones).	12,9%	E. ██████████ 90
1.	No lo entiendo.	2,9%	1. ██████ 20
2.	No sé lo suficiente sobre este tema para elegir una opción.	11,1%	2. ██████████ 78
3.	Ninguna de estas opciones satisface básicamente mi opinión.	2,4%	3. █████ 17

TABLA VI

Porcentajes y frecuencias de respuestas de los estudiantes sobre las suposiciones científicas. Casos válidos: 713

90521 Cuando se desarrollan nuevas teorías o leyes, los científicos necesitan hacer algunas suposiciones sobre la naturaleza (por ejemplo, que la materia está hecha de átomos). Estas suposiciones tienen que ser verdaderas para que la ciencia progrese adecuadamente

Las suposiciones TIENEN QUE SER verdaderas para que la ciencia progrese:			
A.	Porque se necesitan suposiciones correctas para tener teorías y leyes correctas. En caso contrario los científicos perderían mucho tiempo y esfuerzo empleando teorías y leyes erróneas. 14,3%	A. ██████████	102
B.	En caso contrario la sociedad tendría serios problemas, como una inadecuada tecnología y productos químicos peligrosos. 5,8%	B. ████████	41
C.	Porque los científicos hacen investigación para probar que sus suposiciones son verdaderas antes de continuar con su trabajo. 10,0%	C. ██████████	71
D.	Depende. A veces la ciencia necesita suposiciones verdaderas para progresar. Pero a veces la historia ha demostrado que se han hecho grandes descubrimientos <i>refutando</i> una teoría y aprendiendo de sus suposiciones falsas. 46,7%	D. ████████████████████	333
E.	Los científicos no hacen suposiciones. Investigan una idea para averiguar si la idea es verdadera. No suponen que sea verdad. 17,8%	E. ████████████████████	127
1.	No lo entiendo. 6%	1. █████	4
2.	No sé lo suficiente sobre este tema para elegir una opción. 3,8%	2. ██████████	27
3.	Ninguna de estas opciones satisface básicamente mi opinión. 1,1%	3. ██████	8

Las diferencias en esta cuestión son generalizadas entre las variables de grado de exposición a la ciencia, edad o género. Las diferencias según el grado de exposición a la ciencia se centran en la alternativa mayoritaria, seleccionada en orden creciente según el grado de exposición a la ciencia y la alternativa A seleccionada en orden creciente a la anterior; en las respuestas no actitudinales, los

grupos bajo y medio concitan más respuestas que el grupo de alta exposición a la ciencia (que no tiene ninguna). Las diferencias de género aparecen en el grupo de baja exposición a la ciencia, donde los chicos eligen menos que las chicas la alternativa mayoritaria. Finalmente, también son significativas las diferencias de edad en los grupos de alta y baja exposición a la ciencia.

Muchos científicos, especialmente los más teóricos, se han sentido siempre atraídos por la elegancia y simplicidad de las formulaciones que expresan las teorías científicas. La elegancia de las ecuaciones matemáticas propuestas por los científicos para describir la naturaleza es una cualidad que ha llegado a la sensibilidad de muchos científicos. Sin embargo, aunque no se debe confundir la elegancia con el valor de verdad, es patente el esfuerzo de los científicos por formular sus ecuaciones, incluso las que se refieren a los conceptos más complejos, de la forma más elegante posible. Cuando se plantea la elegancia de la naturaleza que se traslada a la elegancia de las teorías científicas, la actitud mayoritaria del alumnado (casi un cuarto) considera que la elegancia es una característica secundaria, por detrás de la lógica, la consistencia y la sencillez que son valores más apreciados en las ideas científicas. El resto de las opciones reciben apoyos menores, pero relevantes; entre ellas destacan la consideración de que la elegancia es un concepto subjetivo, y por tanto, cada científico lo ve de una manera diferente, y por otro lado, la consideración que es plausible que los científicos consideren sus propias ideas elegantes, pues no en vano llevan mucho tiempo trabajando con ellas. Globalmente, las opiniones favorables a que los científicos desean la elegancia en sus ideas (43%) son superiores a los que mantienen la actitud contraria (38%). Además, en esta cuestión de la elegancia, es notable la tasa de respuesta recogida en las opciones alternativas (*no entiendo, no sé, no se ajusta a mi opinión*, equiparable a cualquiera de las alternativas).

Las diferencias se centran en el grado de exposición a la ciencia: la alternativa mayoritaria (B) y la D son seleccionadas en orden creciente según el grado de exposición a la ciencia, mientras los grupos bajo y medio concitan más respuestas no actitudinales que el grupo de alta exposición a

la ciencia. En esta cuestión se ilustra claramente la influencia central de la variable grado de exposición a la ciencia, pues aunque se encuentran diferencias significativas para la muestra total según la edad, estas diferencias de edad desaparecen cuando se evalúan controlando el grado de exposición a la ciencia.

El principio de sencillez (o simplicidad) es una forma de elegancia que es aceptada por muchos científicos. El juicio del alumnado sobre la sencillez como característica de las mejores teorías científicas, selecciona como posición mayoritaria (casi un tercio) una alternativa intermedia o ecléctica: depende de la teoría, unas son simples y otras no. En el contexto en que se plantea esta pregunta, esta respuesta se puede considerar, equivalente a una respuesta negativa, es decir, no se considera que la sencillez de una teoría científica sea un rasgo general de las buenas teorías científicas. La segunda alternativa mayoritaria (casi un cuarto) vuelve a sostener que las teorías pueden ser complicadas, pero traducibles a un lenguaje sencillo. Los que creen en la simplicidad como una propiedad de las teorías científicas son un número relevante, pero pequeño. Globalmente, la gran mayoría de la muestra se sitúa en una actitud que reconoce a la vez la complejidad y la sencillez de las teorías científicas; las actitudes extremas en favor sólo de la sencillez o de la complejidad son minoritarias. Quizá, las actitudes de los estudiantes sobre la simplicidad difieren ostensiblemente del significado de este término para los científicos; la ciencia es para la mayoría de los estudiantes una materia muy difícil, como confirman infinidad de estudios y encuestas, de modo que plantear a los estudiantes la idea de la simplicidad puede ser algo que contradice su experiencia directa o inmediata en su contacto con la ciencia escolar. De hecho sólo un 12% se adhiere a la idea de la simplicidad.

TABLA VII
Porcentajes y frecuencias de respuestas de los estudiantes sobre la elegancia de las ideas científicas. Casos válidos: 704

90531 Como reacción a la ecuación de Einstein, $E = m \cdot c^2$, los científicos dijeron «Una ecuación tan maravillosamente elegante tiene que ser una descripción verdadera de la naturaleza». Esta afirmación muestra que los científicos suponen que sus ecuaciones o ideas deberían encajar con la elegancia de la naturaleza

Los científicos SUPONEN que sus ideas deberían ser elegantes:			
A.	Para que sean <i>verdad en la naturaleza</i> . Los científicos saben que si buscan de forma correcta, la naturaleza es hermosa o elegante. 4,4%	A. [REDACTED]	31
B.	Porque las ideas científicas deberían ser simples, consistentes y lógicas. La elegancia de la naturaleza <i>no tiene nada que ver con esto</i> . 23,9%	B. [REDACTED]	168
C.	La elegancia de las ideas científicas se debe al hecho de que los científicos se esforzaron mucho y durante mucho tiempo en producirlas y por eso los científicos las encuentran elegantes. La elegancia de la naturaleza <i>no tiene nada que ver con esto</i> . 15,2%	C. [REDACTED]	107
Los científicos NO suponen que sus ideas deberían ser elegantes:			
D.	Aunque los científicos puedan pensar que la naturaleza es hermosa o elegante. 10,8%	D. [REDACTED]	76
E.	Porque los científicos saben que no todo en la naturaleza es hermoso o elegante. 11,1%	E. [REDACTED]	78
F.	Porque los científicos saben que cada uno ve la elegancia de manera diferente. 16,6%	F. [REDACTED]	117
1.	No lo entiendo. 6,7%	1. [REDACTED]	47
2.	No sé lo suficiente sobre este tema para elegir una opción. 5,8%	2. [REDACTED]	41
3.	Ninguna de estas opciones satisface básicamente mi opinión. 5,5%	3. [REDACTED]	39

Las diferencias según el grado de exposición a la ciencia se centran en las dos alternativas mayoritarias, la alternativa ecléctica seleccionada en orden creciente según el grado de exposición a la ciencia, mientras la alternativa que afirma la complicación de las teorías es seleccionada más por los grupos de media y baja exposición a la ciencia; los grupos bajo y medio concitan más respuestas no actitudinales que el grupo de alta exposición a la ciencia (sólo una).

ESTATUS EPISTEMOLÓGICO

En el marco teórico planteado en la introducción se ha expuesto en profundidad la confrontación entre realismo e instrumentalismo; del realismo se deduce que las leyes están impresas en la naturaleza y la tarea del científico es, simplemente, llegar a esta ellas, es decir, descubrirlas; la posición instrumentalista es menos simple puesto que reconoce su naturaleza mental

o inventada. La cuestión que plantea la naturaleza inventada o real de las leyes, hipótesis y teorías científicas ofrece tres niveles de respuestas: favorables a la invención, favorables al descubrimiento e intermedias (a veces se descubren y, a veces, se inventan). La única alternativa favorable a la invención es la mayoritaria entre el alumnado (más de un cuarto), pero las alternativas favorables al descubrimiento, aunque individualmente reciben apoyos menores que la anterior, globalmente, reciben el apoyo más importante (más de un tercio), siendo la alternativa singular más apoyada la que justifica los descubrimientos por estar basados en hechos experimentales. Las actitudes intermedias reciben un apoyo global también significativo (un cuarto de la muestra). En suma, aunque existe una mayoría en favor de la naturaleza inventada, la actitud global del alumnado es bastante difusa, puesto que está dispersa entre las posiciones extremas e intermedias.

Las diferencias según el grado de exposición a la ciencia se centran en las respuestas no actitudinales, donde los grupos bajo y medio dan más respuestas que el grupo de alta exposición a la ciencia (que no da ninguna); en la alternativa mayoritaria, el grupo de baja exposición a la ciencia muestra una tasa de respuesta inferior a los otros dos. Las diferencias de género aparecen en el grupo de baja exposición a la ciencia y son complejas porque implican varias alternativas; se observa que los chicos eligen menos que las chicas la alternativa mayoritaria (invención) y curiosamente la que justifica el descubrimiento por los hechos experimentales y más alternativa más realista (A), mientras las chicas muestran el patrón contrario al anterior.

La comparación respecto al estudio original con estudiantes canadienses (Aikenhead y Ryan, 1989) ofrece diferencias interesantes, aunque no permite conclusiones más directas debido a la falta de equivalencia de las muestras. Las diferencias no son significativas en la cuestión de las ob-

servaciones, la elegancia y la simplicidad de las teorías. Las diferencias son relevantes en los modelos (los canadienses eligen más la alternativa mayoritaria y son un poco menos partidarios del realismo), los esquemas de clasificación (los canadienses eligen la mitad que los españoles la posibilidad de que existan varios esquemas), la tentatividad del conocimiento (los canadienses eligen más el cambio por razones generacionales y menos por reinterpretación de hechos), la evolución del conocimiento (los canadienses son más partidarios de la idea de las hipótesis que se convierten en leyes y menos respecto a la contribución de la refutación de teorías), la invención de las teorías científicas (los canadienses son menos partidarios de la invención del conocimiento científico).

DISCUSIÓN DE DATOS. CONCLUSIONES GENERALES

Las ideas de los estudiantes sobre la naturaleza del conocimiento científico a la luz de los resultados expuestos son multifacéticas. En primer lugar, aparecen ideas que se aproximan a lo que se puede considerar una comprensión adecuada de la naturaleza de la ciencia como por ejemplo la naturaleza cambiante y tentativa del conocimiento y la mayoría en favor de la naturaleza construida del conocimiento. Por otro lado, aparecen también ideas de tipo ecléctico que revelan actitudes indecisas o poco convencidas de la validez de alguno de los extremos, como es el caso de las observaciones, los supuestos de la ciencia y la simplicidad de las teorías.

En segundo lugar, cuando se tiene en cuenta la complejidad de las actitudes reflejadas en las respuestas resulta insatisfactoria la elevada proporción de estudiantes que tienen ideas claramente inapropiadas sobre la naturaleza de la ciencia y que aparecen en cada una de las cuestiones examinadas. Desde una

perspectiva educativa, esta situación es relevante porque la educación, especialmente la educación básica y obligatoria, debe ser educación para todos, es decir,

aspira a conseguir los objetivos de aprendizaje en toda o la mayor parte de la población educada, y no sólo en una minoría, aunque sea mayoritaria.

TABLA VIII

Porcentajes y frecuencias de respuestas de los estudiantes sobre la simplicidad de las teorías científicas. Casos válidos: 659

90541 *Las buenas teorías científicas explican bien las observaciones. Pero las buenas teorías son más bien simples que complicadas*

A. Las buenas teorías son simples. El mejor lenguaje para usar en ciencia es simple, corto y directo. 12,6%	A. ██████████ 83
B. Depende de <i>cuán profundamente</i> se quiera llegar en la explicación. Una buena teoría puede explicar algo bien de forma simple o de forma complicada. 16,5%	B. ██████████ 109
C. Depende de <i>la teoría</i> . Algunas buenas teorías son simples y otras son complicadas. 29,9%	C. ██████████ 197
D. Las buenas teorías pueden ser complicadas, pero debe ser posible <i>traducirlas</i> a un lenguaje sencillo si tienen que ser usadas. 23,7%	D. ██████████ 156
E. Las teorías son normalmente <i>complicadas</i> . Algunas cosas no pueden simplificarse si están implicados muchos detalles. 7,9%	E. ██████████ 52
F. La mayoría de las buenas teorías son <i>complicadas</i> . Si el mundo fuera más sencillo, las teorías podrían ser más sencillas. 4,7%	F. ██████████ 31
1. No lo entiendo. 9%	1. ██████ 6
2. No sé lo suficiente sobre este tema para elegir una opción. 2,0%	2. ██████ 13
3. Ninguna de estas opciones satisface básicamente mi opinión. 1,8%	3. ██████ 12

En tercer lugar, las ideas del alumnado muestran rasgos importantes de inconsistencia, coincidiendo con Meichtry (1993). Bajo la apariencia de adecuación, la inconsistencia puede encubrir una falta de validez, consolidación y fundamentación de las ideas y actitudes. Además, del rasgo ya comentado del eclecticismo, que revela indefinición, por tanto, en cierto modo, inadecuación, la inconsistencia se revela sobre todo cuando aparecen ideas claramente contradictorias sobre un mismo tema. El ejemplo paradigmático de la in-

consistencia de las actitudes de los estudiantes son las respuestas obtenidas a las dos cuestiones que plantean la controversia realismo/instrumentalismo, una desde la perspectiva de los modelos científicos y otra desde la perspectiva de los sistemas de clasificación. Mientras la actitud dominante del alumnado respecto a los modelos es realista, la actitud del alumnado respecto a los sistemas de clasificación científicos es más instrumentalista. No sólo este resultado evidencia la contradicción subyacente, sino que cuando se han ex-

plorado las diferencias entre los diversos grupos en estas cuestiones el patrón obtenido también es claramente contradictorio: mientras las diferencias entre los grupos de exposición a la ciencia, edad o género en el caso de los modelos son las más importantes de todas las cuestiones, estas diferencias no aparecen en el caso de los esquemas de clasificación (resultado ya encontrado en otro estudio anterior, Vázquez y Manassero, 1998). La importancia de este resultado va más allá de la simple valoración como adecuadas o inadecuadas de las ideas de los estudiantes, sino que estas actitudes pueden aparecer con diferente signo y orientación en función del discurso o del contexto en el que son elicitadas, también denominado *efecto de examen* (Lederman y O'Malley, 1990; Blanco y Niaz, 1997), lo cual es un indicador de falta de consolidación y formación, aunque al mismo tiempo prueban el efecto clarificador que la simple reflexión sobre estos temas tiene, desempeñando una importante función de desarrollo y aprendizaje. Este resultado tiene consecuencias importantes demostrando que la educación de los estudiantes en los temas de naturaleza de la ciencia es una necesidad perentoria para la educación científica, y para la investigación en didáctica de las ciencias, que debería emplear sistemas más sofisticados que la simple respuesta de los estudiantes, abierta o cerrada, cuantitativa o cualitativa.

En relación con las diferencias entre grupos la hipótesis inicial sobre la influencia del grado de exposición a la ciencia resulta confirmada, pues la gran mayoría de las preguntas muestran diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de esta variable. La interpretación de este resultado es inmediata: aunque los estudiantes de la muestra no reciben educación explícita sobre la naturaleza de la ciencia, porque no forma parte de la educación científica reglada, una mayor formación científica proporciona ideas y actitudes diferentes a los estudiantes de ciencias que

al resto. Por otro lado, un rasgo muy repetido de estas diferencias es que el grupo con alto grado de *exposición a la ciencia* no utiliza las respuestas *no actitudinales* (*no sé, no tengo formación, no se ajusta a mi opinión*) que son más usadas cuanto menor es el grado de exposición a la ciencia; esto se puede interpretar como indicador de que los estudiantes con mayor formación científica aparecen más seguros de sus ideas sobre la ciencia que los demás, con independencia de la mayor o menor adecuación de estas ideas.

Las tendencias obtenidas para las diferencias controlando *el grado de exposición a la ciencia* en el género y la edad, aunque secundarias, son también ilustrativas. El rasgo más relevante es que estas diferencias aparecen principalmente en el grupo de *baja exposición a la ciencia*. La interpretación de estas tendencias es que la falta de contacto con la ciencia genera modificaciones importantes de las ideas y actitudes según la edad, y menos, según el género. Complementariamente, la ausencia de diferencias en los grupos de *media y alta exposición a la ciencia* permiten sugerir una conclusión más significativa para aquellos: en ausencia de una formación específica sobre la naturaleza de la ciencia, el contacto temprano con ésta, posiblemente en el bachillerato, aunque no sea muy profundo, modela las ideas y actitudes básicas de los estudiantes, homogeneizando las pocas diferencias de género que pudieran existir y que no se modifican posteriormente con la edad.

La revisión realizada sobre el estado de la comprensión de la naturaleza de la ciencia evidencia que la mayoría de los estudiantes posee una comprensión inadecuada y nuestros resultados, aunque también van en este sentido, quedan mitigados porque nuestro sistema educativo no ha incorporado este objetivo a su sistema educativo con la celeridad de otros países. En la educación en ciencias, la inadecuada comprensión de la naturaleza de la ciencia

por los estudiantes ha sido uno de los fracasos más importantes de las reformas curriculares desarrolladas en muchos países en la segunda mitad del siglo. Como causas de este fracaso se diagnosticaron dos factores, la inadecuación de los currículos de ciencias para asumir el objetivo de la comprensión de la naturaleza de la ciencia, y por otro lado, las concepciones de los profesores, como mediadores de ese currículo; ambas causas

han generado dos líneas de investigación paralelas, un movimiento de renovación de los currículos de ciencias, donde ha surgido con fuerza el paradigma ciencia-tecnología-sociedad (CTS) como elemento aglutinador (A(AS, 1989; Aikenhead, 1994; Bybee, 1987; Fleming, 1989; NSTA, 1991; Yager, 1992 entre otros), y la atención al pensamiento del profesor (ver una revisión en Mellado, 1993).

TABLA IX

Porcentajes y frecuencias de respuestas de los estudiantes sobre el carácter de descubrimiento o invención del conocimiento científico. Casos válidos: 704

91011 *Suponga que un buscador de oro «descubre» oro y que un artista «inventa» una escultura. Algunas personas piensan que los científicos «descubren» las LEYES, HIPÓTESIS y TEORÍAS científicas; otros piensan que los científicos las «inventan». ¿Qué piensa Vd.?*

Los científicos <i>descubren</i> las leyes, hipótesis y teorías científicas:			
A.	Porque las leyes, hipótesis y teorías están ahí afuera, en la naturaleza, y los científicos sólo tienen que encontrarlas. 14,6%	A. ██████████	103
B.	Porque las leyes, hipótesis y teorías están basadas en <i>hechos</i> experimentales. 16,5%	B. ██████████	116
C.	Pero los científicos inventan los <i>métodos</i> para encontrar esas leyes, hipótesis y teorías. 9,2%	C. ██████████	65
D.	Algunos científicos se tropiezan con una ley por casualidad, por tanto la descubren. Pero otros científicos inventan la ley de los hechos que ya conocen. 6,3%	D. ██████████	44
Los científicos <i>inventan</i> las leyes, hipótesis y teorías científicas:			
E.	Los científicos <i>inventan</i> las leyes, hipótesis y teorías, porque los científicos interpretan los hechos experimentales que descubren. Los científicos no inventan lo que la naturaleza hace, sino que inventan las leyes, hipótesis y teorías que <i>describen</i> lo que la naturaleza hace. 27,0%	E. ██████████	190
F.	Depende en cada caso; las leyes se descubren y las hipótesis y teorías se inventan. 17,9%	F. ██████████	126
1.	No lo entiendo. 1,8%	1. ██████	13
2.	No sé lo suficiente sobre este tema para elegir una opción. 4,0%	2. ██████	28
3.	Ninguna de estas opciones satisface básicamente mi opinión. 2,7%	3. ██████	19

El desarrollo, uso y aplicación de nuevos currículos diseñados para mejorar las concepciones de los estudiantes sobre la naturaleza de la ciencia ha ofrecido también resultados ambiguos, pues aunque se han continuado obteniendo resultados negativos, también se han informado algunos resultados positivos. Entre los resultados negativos, por la importancia de la muestra (3.500 alumnos de grados 9 a 12) y los métodos contrastados (BSCS, CHEMS y PSSC)¹ cabe citar el estudio de Tamir (1972), empleando también el inventario de Welch (1966); sólo obtuvo diferencias en favor del método BSCS en relación con los otros dos, mientras que las diferencias entre los grupos control y experimental, totales y por centros, no obtuvieron resultados favorables. La evaluación nacional del progreso educativo en USA que compara el período 1969-1985, en lo que se refiere a la naturaleza de la ciencia obtiene algún avance en Secundaria pero observa un estancamiento en Primaria (Mullis y Jenkins, 1988). Los efectos de un programa innovador desarrollado por BSCS fueron evaluados por Meichtry (1991) con la escala NSKS² modificada sobre 1.300 estudiantes de 12 a 14 años; los resultados indicaron que los estudiantes no tenían una concepción adecuada sobre la naturaleza del conocimiento científico. De la revisión de distintos currículos de Ciencias, Meichtry (1993) concluye que el empleo de currículos diseñados para desarrollar la comprensión de la naturaleza de la ciencia no garantiza el logro de este objetivo; si el currículo o el profesor no conectan explícitamente las cuestiones de naturaleza de la ciencia con los contenidos y procedimientos usuales de la ciencia, los estudiantes no realizan esta conexión por sí mismos y el esfuerzo por mejorar la comprensión de la naturaleza de la

ciencia resulta ineficaz. Lederman y O'Malley (1990) proponen además, conectar esta enseñanza con las decisiones que se toman en la vida diaria. En nuestra opinión, la tarea del profesor para lograr relacionar estas cuestiones es insustituible, de ahí la importancia de conseguir una formación adecuada del profesorado sobre los temas de naturaleza de la ciencia. Pero tampoco la formación del profesorado es una condición suficiente, aunque sea necesaria, para hacer que el alumnado relacione las ideas sobre la naturaleza de la ciencia con el currículo y con la vida diaria. La cuestión de los materiales didácticos es un cuello de botella especialmente delicado, pues como han demostrado Solbes y Vilches (1989) los libros de texto españoles proyectan una imagen de la ciencia estereotipada e ingenua y huérfana de las interacciones ciencia-técnica-sociedad.

Clough (1997) sugiere tratar las preconcepciones sobre la naturaleza de la ciencia con una metodología de cambio conceptual proporcionando experiencias que produzcan insatisfacción con las concepciones previas, sugiriendo ideas inteligibles y plausibles que resuelvan en un cambio conceptual el desequilibrio producido (Posner, Strike, Hewson y Gerzog, 1982). Se insiste, además, en la necesidad de mantener la presión sobre las preconcepciones a través de: las actividades de laboratorio y clase, lecturas reflexivas y situaciones históricas; informa además de las mejoras conseguidas por los estudiantes evaluadas con algunas cuestiones VOSTS en línea con los usos sugeridos por Ryan (1992) para un mejor trabajo en clase.

Teniendo en cuenta que la comprensión de la naturaleza de la ciencia, no se incluye explícitamente como un objetivo prioritario de la educación científica básica

-
- (1) BSCS: Biological Science Curriculum Study.
CHEMS: Chemical Education Material Study.
PSSC: Physical Science Study Committee.
 - (2) Nature of Scientific Knowledge Scale.

en nuestro país, proponemos algunas recomendaciones para mejorar la comprensión de la naturaleza de la ciencia: en primer lugar, como condición necesaria, la formación del profesorado, que debe incluir habilidades para el diagnóstico de las ideas previas de los estudiantes y el aumento del conocimiento del profesorado sobre estas cuestiones; segundo, las actividades de aprendizaje (de clase y laboratorio), las estrategias de aprendizaje, los materiales (libro de texto), el lenguaje empleado y, en general, toda la actividad docente en la clase debe ser escrupulosamente coherente con las ideas sobre la naturaleza de la ciencia y las actitudes científicas que se desean enseñar; tercero, el currículo debe incluir explícitamente los aspectos fundamentales de la naturaleza de la ciencia (la inclusión en el currículo de la perspectiva de la epistemología y de la sociología de la ciencia han sido repetidamente recomendados; (p. e. Acevedo, 1997; Gil, 1993; Izquierdo, 1994; Lombardi, 1997; Vélz de Medrano, 1998, entre otros) y el diagnóstico de los conocimientos previos de los estudiantes, y en especial, usar la terminología propia de estas áreas en el discurso de clase que deben relacionarse explícitamente con el resto; por último, para mantener la tensión y el interés sobre estos temas tratar y abordar las cuestiones e ideas sobre la naturaleza de la ciencia en muchas de las actividades de clase. En suma, hacer que estos temas sean verdaderamente temas transversales de la educación científica.

En lo que respecta a la evaluación de la comprensión de la naturaleza del conocimiento científico, banco de ítems COCTS³ (Vázquez y Manassero, 1997) representa un paso importante no sólo como instrumento de diagnóstico y valoración de ideas previas de los estudiantes, sino también como material para ser utilizado en la clase como base de actividades de trabajo, discusión e intercambio de ideas.

BIBLIOGRAFÍA

- AA.AS.: «American Association for the Advancement of Science», *Project 2061: Science for all Americans*. Washington, DC, Author, 1989.
- ACEVEDO, J.A.: «Cuestiones de ciencia y epistemología de la ciencia; la opinión de los estudiantes», en *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 6 (1992), pp. 269-275.
- «Ciencia, tecnología y sociedad (CTS). Un enfoque innovador para la enseñanza de las ciencias», en *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 10 (1997), pp. 269-275.
- «Los futuros profesores de enseñanza secundaria ante la sociología y la epistemología de las ciencias. Un enfoque CTS», en *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 19 (1994), pp. 111-125.
- AIKENHEAD, G.: «What is STS science teaching?», en J. SOLOMON y G. AIKENHEAD (Eds.): *STS education: International perspectives on reform*. Nueva York, Teachers College Press (1994), pp. 47-59.
- «Science: A way of knowing», en *The Science Teacher*, 46 (1979), pp. 23-25.
- AIKENHEAD, G.S. y RYAN, A.G.: *The development of a multiple choice instrument for monitoring views on Science-Technology-Society topics*. Final Report of SSHRCC Grant, Author, 1989.
- «The development of a new instrument: "Views on Science-Technology-Society" (VOSTS)», en *Science Education*, 76 (1992), pp. 477-492.
- RYAN, A.G. y FLEMING, R.G.: *Views on Science-Technology-Society Form CDN.MC.5*. Department of Curriculum Studies College of Education, Author, 1989.
- BYBEE, R.W.: «Science education and the Science-Technology-Society (S-T-S)

(3) COCTS: Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad.

- theme», en *Science Education*, 71 (5) (1987), pp. 667-683.
- BLANCO, R. y NIAZ, M.: «Epistemological beliefs of students and teachers about the nature of science: from a Baconian inductive ascent to the irrelevance of scientific laws», en *Instructional Science*, 25 (1997), pp. 203-231.
- CARNAP, R.: «La superación de la metafísica mediante el análisis lógico del lenguaje». En A.J. AYER (Ed): *El positivismo lógico*. México, Fondo de Cultura Económica, 1997.
- CHALMERS, A.: «¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Madrid, Siglo XXI, 1993.
- CLOUGH, M.P.: «Strategies and activities for initiating and maintaining pressure on students' naive views concerning the nature of science», en *Interchange*, 28 (1997), pp. 191-204.
- COOLEY, W.W. y KLOPPER, L.: *Test of understanding science: form W*. Princeton, NJ, Educational Testing Service, 1961.
- FLEMING, R.: «Literacy for a technological age», en *Science Education*, 73 (4) (1989), pp. 391-304.
- *La construcción del conocimiento científico*. Madrid, Narcea, 1994.
- GARDNER, P.L.: «The dimensionality of attitude scales: a widely misunderstood idea», en *International Journal of Science Education*, 18 (1993), pp. 913-919.
- GIL, D.: «Implicaciones de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias», en *Enseñanza de las ciencias*, 10 (1993), pp. 102-104.
- GILBERT, S.W.: «Model building and a definition of science», en *Journal of research in Science Teaching*, 28 (1991), pp. 73-79.
- IZQUIERDO, M.: «¿Cómo contribuye la historia de la ciencia en las actitudes del alumnado hacia el aprendizaje de las ciencias?», en *Aula*, 27 (1994), pp. 37-40.
- KIMBALL, M.E.: *Opinions of scientists and science teachers about science*. Tesis doctoral no publicada, Stanford University, 1965.
- KORTH, W.W.: *Test every senior project: Understanding the social aspects of science*. Cleveland, Educational Research Council of America, 1969.
- KUHN, T.S.: *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, 1962. (Trad. México, Fondo de Cultura Económica, 1978).
- LAKATOS, I.: *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid, Alianza Editorial, 1983.
- LEACH, J., DRIVER, R., MILLAR, R. y SCOTT, P.: «A study of progression in learning about the nature of science: issues of conceptualisation and methodology», en *International Journal of Science Education*, 19 (1997), pp. 147-166.
- LEDERMARN, N.G.: «Students' and teachers' understanding of the nature of science: A reassessment», en *School Science and Mathematics*, 86 (2) (1996), pp. 91-99.
- «Students' and teacher conceptions of the nature of science: A review of the research», en *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (1992), pp. 331-359.
- LEDERMAN, N. y O'MALLEY, M.: «Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use, and sources of change», en *Science Education*, 74 (2) (1990), pp. 225-239.
- LEDERMAN, N. y ZEIDLER, D.: «Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teaching behavior?», en *Science Education*, 71 (5) (1987), pp. 721-734.
- LOMBARDI, O.I.: «La pertinencia de la enseñanza de la historia de las ciencias: argumentos y contraargumentos», en *Enseñanza de las ciencias*, 15 (1997), pp. 343-350.
- MEAD, M. y MERAUX, R.: «Image of the scientist among high school students», en *Science*, 126 (1957), pp. 384-390.

- MEICHTRY, Y.J.: *The effects of the first-year field test BSCS middle school science program on student understanding of the nature of science*. Tesis doctoral inédita, University of Cincinnati, Cincinnati, OH, 1991.
- «The impact of science curricula on student views about the nature of science», en *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (1993), pp. 389-407.
- MELLADO, V.: «Preservice teachers classroom practices and their conceptions of the nature of science», en B.J. FRASER y K.G. TOBIN (Eds.): *International Handbook of Science Education*, Londres, Kluwer Academic Publishers, pp. 1093-1110, 1993.
- MILLAR, R., DRIVER, R., LEACH, J. y SCOTT, P.: Students awareness of science as a social enterprise. Center for Studies in Science and Mathematics Education, Leeds University/York University Science Education Group, 1993.
- MULLIS, I. y JENKINS, L.: *The science report card: elements of risk and recovery* (Informe N.º 17-S-01). Washington, DC, Educational Testing Service, 1988.
- NAGEL, E.: *La estructura de la ciencia: problemas de la lógica de la investigación científica*. Barcelona, Paidós, 1961.
- NSTA, National Science Teachers Association: *Science-Technology-Society. Science education for the 1980's* (NSTA Position Statement). Washington, DC, Autor, 1982.
- «Science/Technology/Society: A new effort for providing appropriate science for all» *NSTA Reports*, abril, pp. 36-37, 1991.
- POPPER, J.R.: *Conocimiento objetivo*, Madrid, Tecnos, 1974.
- POSNER, G.S.; STRIKE, J.A.; HEWSON, P.W. y GERZOG, W.A.: «Accommodation of scientific conception: towards theory of conceptual change», en *Science Education*, 66 (1982), pp. 211-227.
- REICHENBACH, H.: *La filosofía científica*. México, FCE.
- ROTH, W.M. y LUCAS, K.B.: «From truth to invented reality: A discourse analysis of high school physics students talks about scientific knowledge», en *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (1997), pp. 145-179.
- RUBBA, P.A.: *Nature of scientific knowledge scale*. Bloomington, IN, School of Education Indiana University, 1976.
- RUBBA, P.A. y ANDERSEN, H.: «Development of an instrument to assess secondary students understanding of the nature of scientific knowledge», en *Science Education*, 62 (4) (1978), pp. 449-458.
- RUBBA, P.; HORNER, J. y SMITH, J.M.: «A study of two misconceptions about the nature of science among junior high school students», en *School Science and Mathematics*, 81 (1981), pp. 221-226.
- RYAN, A.G.: «A way of expanding classroom assessment to meet the STS agenda in secondary school science». En R. Yager (Ed.): *The status of science-technology-society reform efforts around the world*. ICASE 1992 Yearbook. Knapp Hill, South Harting, Petersfield, UKGU315LR: International Council of Associations for Science Education, 1992.
- SOLBES, J. y TRAVER, M.J.: «La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química», en *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1989), pp. 103-112.
- SOLBES, J. y VILCHES, A.: «Interacciones ciencia/técnica/sociedad: un instrumento de cambio actitudinal», en *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1) (1996), pp. 14-20.
- SOLOMON, J.; DUVEEN, J. y SCOTT, L.: «Pupils images of scientific epistemology», en *International Journal of Science Education*, 16 (1994), pp. 361-373.
- SOLOMON, J.; SCOTT, L. y DUVEEN, J.: «Large-scale exploration of pupils understanding of the nature of science», en *Science Education*, 80 (1994), 493-508.
- STENGERS, I.: *D'une science à l'autre, des concepts nomades*. París, Seuil, 1987.

- TAMIR, P.: «Understanding the process of science by students exposed to different science curricula in Israel», *Journal of Research in Science Teaching*, 9 (1972), pp. 239-245.
- VÁZQUEZ, A. y MANASSERO, M.A.: *Actitudes hacia la ciencia y sus relaciones con la tecnología y la sociedad en alumnos de todos los niveles educativos. Memoria final de investigación*. Madrid, MEC-CIDE, 1995.
- *Actitudes hacia la ciencia y sus relaciones con la ciencia, la tecnología y la sociedad en alumnado y profesorado. Implicaciones para la educación de las actitudes*. Memoria final de investigación. Madrid, MEC-CIDE, 1997.
- «Características del conocimiento científico: creencias de los estudiantes», en *Enseñanza de las ciencias*, 1998, en prensa.
- WELCH, W.W.: *Welch science process inventory, form D*. Minneapolis, MN, Minnesota Research and Evaluation Center, University of Minnesota, 1966.
- WILSON, L.: «A study of opinions related to the nature of science and its purpose in society», en *Science Education*, 38 (1954), pp. 159-164.
- YAGER, R.E.: «Science-technology-society as reform», en R.E. Yager (Ed.): *The status of STS: Reform efforts around the world*, pp. 2-8. ICASE, 1992, Yearbook. Peterfield, UK, International Council of Associations for Science Education, 1992.