

Enseñar ciencias

María Pilar Jiménez Aleixandre (coord.), Aureli Caamaño,
Ana Oñorbe, Emilio Pedrinaci, Antonio de Pro

Este libro pretende proporcionar una herramienta de trabajo al profesorado de ciencias de secundaria (sea en formación o en ejercicio) que se enfrenta cada día a retos como enseñar ciencias a toda la población, enseñar unas ciencias cambiantes, lograr que mejore la imagen de las ciencias, conseguir que los estudiantes aprendan a pensar científicamente.

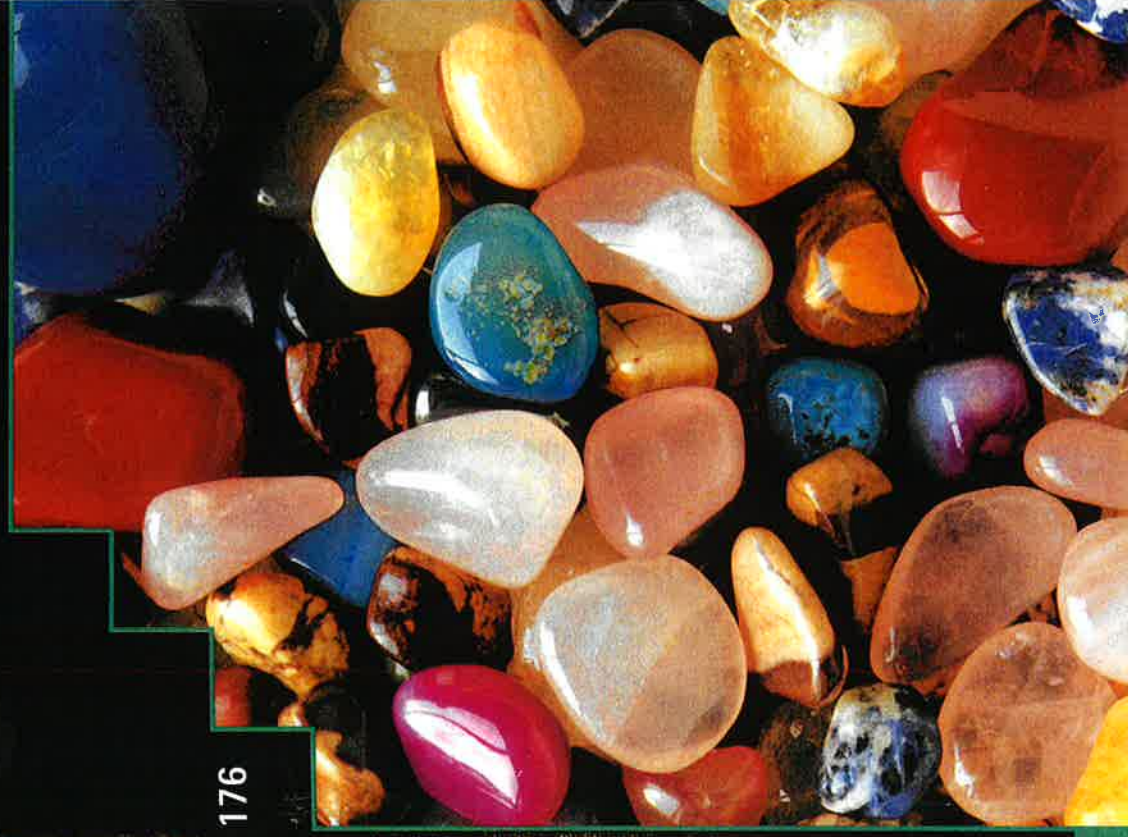
En la primera parte, se abordan cinco cuestiones comunes a las cuatro disciplinas: el trabajo con problemas auténticos en el marco del aprendizaje situado, la construcción del conocimiento y los contenidos de ciencias, la comunicación y el lenguaje en las clases de ciencias, la resolución de problemas y los trabajos prácticos. Los cuatro capítulos de la segunda parte están dedicados a tratar respectivamente la enseñanza y el aprendizaje de la biología, la geología, la física y la química, partiendo de las preguntas clave de cada disciplina y los conocimientos construidos en respuesta a ellas, abordando algunos problemas de aprendizaje detectados por la investigación didáctica y ofreciendo ejemplos de cómo llevar a cabo estas propuestas en las clases de secundaria obligatoria y bachillerato.

El libro combina datos proporcionados por la investigación didáctica con una especial atención a los estudios y propuestas realizados en España, partiendo de la experiencia, tanto de las autoras y autores, como de otros profesores y profesoras en sus clases de ciencias. Aunque la didáctica de las ciencias es un campo reciente en el que el consenso sobre cómo resolver los problemas alcanza aún a pocas cuestiones, se deben aprovechar las ideas y experiencias acumuladas en los últimos años, ponerlas en común, compartir propuestas y soluciones que se han mostrado útiles. Se pretende así proporcionar herramientas que ayuden al profesorado a llevar a cabo la tarea, no por difícil menos apasionante, de enseñar a pensar científicamente, de enseñar ciencias.

ISBN: 978-84-7827-285-3



9 788478 272853



Índice

Introducción: aprender a pensar científicamente, María Pilar Jiménez-Aleixandre | 7

Parte I

- 1. El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas, María Pilar Jiménez-Aleixandre | 13**
 - El conocimiento situado en su contexto: actividades y problemas auténticos | 14
 - Comunidades de aprendizaje en la clase de ciencias | 18
 - Pensar con conceptos científicos, negociar significados | 22
 - El desarrollo de los procedimientos y el trabajo científico | 27
 - El desarrollo de actitudes y valores | 30
 - Bibliografía comentada | 32
- 2. La construcción del conocimiento científico y los contenidos de ciencias, Antonio de Pro Bueno | 33**
 - El problema de contenidos en la enseñanza de las ciencias | 34
 - ¿Qué no son las ciencias? | 35
 - ¿Creemos que la ciencia es empirista? | 36
 - ¿Creemos que la ciencia es sólo racionalista? | 36
 - ¿Creemos que la ciencia es positivista? | 37
 - ¿Qué son las ciencias? | 38
 - ¿Qué conocimientos aportan las ciencias y cuáles de ellos podemos usar en su enseñanza? | 40
 - ¿Cómo se han construido los conocimientos científicos? | 44
 - ¿Qué consecuencias podemos extraer para la enseñanza de las ciencias? | 51
 - Bibliografía comentada | 53
- 3. Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias, María Pilar Jiménez-Aleixandre | 55**
 - La comunicación en las clases de ciencias: construcción de significados | 56
 - Explicaciones en las clases de ciencias | 60
 - Comunicación y transformación del discurso | 63
 - Léxico, vocabulario: mecanismos de reformulación | 63
 - Lenguaje figurado: metáforas y analogías | 65
 - El papel de las imágenes en el discurso científico | 66
 - Razonamiento y argumentación: justificar conclusiones con datos | 67
 - Comunidades de pensamiento: hablar ciencias y hacer ciencias | 70
 - Bibliografía comentada | 71
- 4. Resolución de problemas, Ana Oñorbe | 73**
 - ¿Qué es un problema? Objetivos de la resolución de problemas en ciencias | 73
 - Condiciones de existencia de un problema | 76
 - Tipos de problemas | 77
 - Proceso de resolución | 78
 - La enseñanza tradicional de la resolución de problemas | 79

Serie Didáctica de las ciencias experimentales

© María Pilar Jiménez-Aleixandre, Aureli Caamaño, Ana Oñorbe, Emilio Pedrinaci,
Antonio de Pro

© de esta edición: Editorial GRAÓ, de IRIF, S.L.

C/ Hurtado, 29. 08022 Barcelona

www.grao.com

1.ª edición: enero 2003

3.ª reimpresión: enero 2009

ISBN: 978-84-7827-285-3

D.L.: B-3275-2009

Diseño de cubierta: Xavier Aguiló

Impresión: Publidisa

Impreso en España

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de ésta por cualquier medio, tanto si es eléctrico como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*. Si necesita fotocopiar o escanear fragmentos de esta obra, diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org).

pecies, distintos estudios han puesto de manifiesto que los estudiantes de secundaria están más sensibilizados hacia el uso de animales para ropa (3/4 en contra) o comida, o en contra de los zoos, que sobre la conservación de todas las especies animales, quizá por ser más abstracto. Muchos de ellos no reconocen la necesidad de criar animales para comer y la mitad no cree que la experimentación con animales haya mejorado la vida de las personas. En el caso de la conservación de las entidades geológicas el interés es aún menor (Brañas y Jiménez, 1996). Es importante plantear el uso de animales por la especie humana –u otros temas semejantes– presentando sus ventajas e inconvenientes, discutiendo explícitamente en clase los aspectos positivos y negativos que presentan y proporcionando una información adecuada.

Esto lleva a otra cuestión: el reconocimiento del carácter conflictivo de muchas cuestiones relacionadas con las actitudes, sean ambientales (por ejemplo, la contradicción entre industrialización y conservación del medio; ahorrar energía puede suponer sacrificios en cuanto al estilo de vida), de salud (una dieta saludable puede ser más laboriosa o menos apetecible que otra menos sana, o de otro tipo). Por una parte creemos que las cuestiones más interesantes para trabajar en clase son precisamente las conflictivas, las que no tienen una solución única, sino que cualquiera de las opciones tiene ventajas e inconvenientes. Esta variedad promueve el razonamiento, la necesidad de justificar una u otra opción. Por otra parte, y en el sentido de formar ciudadanos y ciudadanas, de promover el pensamiento crítico, es importante el reconocimiento de que todo tiene un coste, que conseguir mejorar el ambiente –o el mundo– puede suponer esfuerzos, que hay intereses en conflicto, que, por ejemplo, ciertos alimentos o productos no serían tan baratos si quienes los producen cobrasen sueldos semejantes a los europeos. Todo ello va en contra de la infantilización y a favor del trato del alumnado de secundaria como personas capaces de razonar, si se les da la oportunidad.

En conjunto, todo esto quizá sea parte del camino que pueda remediar la progresiva pérdida de interés de los estudiantes en ciencias (o en algunas ramas) a medida que avanza la escolarización, llevando a las clases de ciencias los problemas de tamaño real que ocurren fuera de clase, en la vida. Porque las ciencias, como toda la enseñanza, deben ser parte de la preparación para la vida real, y nuestro objetivo en clase es que el alumnado aprenda a usar los conocimientos científicos, en otras palabras, que aprenda a pensar científicamente.

Bibliografía comentada

- OSBORNE, R.; FREYBERG, P. (1991): *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la ciencia infantil*. Madrid. Narcea.
- Obra de uno de los primeros equipos que trabajaron sobre los problemas de aprendizaje de conceptos e ideas previas. Escrito en lenguaje directo contiene numerosas propuestas e ideas para el aula.
- POZO, J.I.; GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998): *Aprender y enseñar ciencias*. Madrid. Morata.
- Juan Ignacio Pozo es autor de rigurosos trabajos sobre el aprendizaje de las ciencias. En éste, en colaboración con Miguel A. Gómez Crespo, se abordan tanto cuestiones de carácter general como sobre aprendizaje de física y química.

2

La construcción del conocimiento científico y los contenidos de ciencias

Antonio de Pro Bueno
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales
Universidad de Murcia

La elección de los contenidos en la enseñanza de las ciencias depende, entre otros aspectos, de cómo se considere la construcción del conocimiento científico. Por ello, a lo largo de este capítulo se intenta aportar algunas reflexiones respecto a estos interrogantes:

- ¿Qué no son las ciencias?
En relación con la naturaleza de las ciencias, se señalan algunas características de modelos que han sido cuestionados (empirismo, positivismo, racionalismo...) y se plantean algunas influencias de estas posiciones en el trabajo como profesor.
- ¿Qué parece que son las ciencias?
Se plantean ideas aceptadas por la nueva filosofía de las ciencias y se analizan algunas implicaciones que podemos incorporar a nuestra práctica educativa.
- ¿Qué conocimientos aportan las ciencias y cuáles de ellos podemos usar en la enseñanza?
Se identifican tres tipos de conocimientos (cuerpo teórico, metodología de la investigación, y formas de hacer y pensar) y se infieren sus correspondientes contenidos de enseñanza (conceptos, procedimientos y actitudes). Se analizan analogías y diferencias entre la ciencia de los científicos y la ciencia escolar.
- ¿Cómo se han construido los conocimientos científicos?
Se presentan ejemplos históricos sobre la evolución de algunos temas científicos. Se identifican algunas características relevantes en cada caso, para aproximarnos a cómo se han construido los conocimientos en las ciencias.
- ¿Qué consecuencias podemos extraer de cara a la enseñanza de las ciencias?
Se discuten analogías y diferencias entre la construcción del conocimiento por los científicos y el proceso de aprendizaje del alumnado.

El problema de contenidos en la enseñanza de las ciencias

Tradicionalmente las ciencias —ya sea con sus denominaciones disciplinares o *enlatadas pero conservando los ingredientes* bajo el epígrafe de ciencias de la naturaleza— han ocupado un lugar importante en la educación obligatoria. Su inclusión en el currículo, desde los primeros niveles del sistema educativo, puede justificarse por diversos motivos:

- Las necesidades de una sociedad en la que cada vez existe mayor desarrollo científico y tecnológico.
- La curiosidad del ser humano por conocer las características, las posibilidades y las limitaciones de su propio cuerpo.
- La importancia, en una sociedad democrática, de que los ciudadanos tengan conocimientos suficientes para tomar decisiones reflexivas y fundamentadas sobre temas científico-técnicos de incuestionable trascendencia social.
- La creencia de que es imprescindible una participación activa y consciente en la conservación del medio y el desarrollo sostenible.
- El interés por crear hábitos saludables, personales y colectivos, que mejoren nuestra calidad de vida.
- La conveniencia de transferir muchos de sus valores formativos a otros contextos y situaciones cotidianas.

Podríamos añadir otras contribuciones de esta área de conocimientos a la formación básica de los estudiantes y posiblemente serían compartidas por gran parte del profesorado de ciencias. No obstante, también hay cuestiones en las que las respuestas no son tan homogéneas: ¿creemos que todos los contenidos de nuestras asignaturas están orientados al logro de esas intenciones educativas?; ¿qué preocupa más, la adquisición de estos «valores formativos» o la explicación de la mayor parte del programa?; ¿es la ciencia que impartimos la única o la más importante fuente de formación «vital» de los adolescentes que tenemos en el aula?; ¿deben compartir que nuestra asignatura es la más importante?; ¿por qué al alumnado, en general, le gustan cada vez menos las ciencias?

Conviene recordar que no es posible (ni parece necesario) que un estudiante sea capaz de acumular o reconstruir todo el conocimiento que hay actualmente sobre una materia determinada, ni siquiera cuando acaba su formación universitaria. Por lo tanto, siempre estaremos obligados a seleccionar un subconjunto de lo que sabemos; es decir, algo, que nos resulta interesante o apasionante y que nos gustaría comunicar a nuestros alumnos, tendrá que esperar a otra ocasión.

Pero, al hilo de esta reflexión sobre la obligada selección del contenido de enseñanza, queremos plantear lo siguiente:

- Si los programas de las asignaturas vienen impuestos, directa o indirectamente, por alguien o por algo, ¿estamos dispuestos a enseñar contenidos que, por nuestra experiencia profesional, consideremos inadecuados?; ¿asumimos la validez del conocimiento de los libros de texto o de otros materiales de aprendizaje sin cuestionar su idoneidad científica?

- Si la elección depende de nosotros, ¿qué conocimientos científicos deberíamos enseñar?; ¿nos centraríamos en la ciencia actual (más compleja pero más próxima a los problemas de la calle) o en «la de siempre» (menos compleja pero en la que nos sentimos más seguros)? (Pro y Saura, 2001); ¿vamos a enseñar lo mismo con la pizarra que con las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación? (Sanmarti e Izquierdo, 2001); ¿qué estamos modificando en los programas de nuestras materias ante fenómenos sociales como, por ejemplo, la emigración? (Benarroch, 2001 a).

Los profesores tratamos a veces de impartir programas sobrecargados de contenidos y nos quejamos de no disponer de tiempo suficiente para explicarlos. Si no nos da tiempo a enseñarlos, ¿cómo le va a dar tiempo al estudiante a aprenderlos?... Por otro lado, admitiendo que la propia docencia ha favorecido una evolución de nuestros conocimientos, podemos preguntarnos: ¿qué concepciones teníamos a la edad de nuestros alumnos?; ¿por qué han cambiado?; ¿cuánto tiempo hemos tardado en comprender lo que ahora sabemos?

Son muchos los interrogantes que se plantean en relación con la práctica profesional. Paradójicamente cuanto más se avanza en las respuestas, más preguntas surgen. Quizás lo único claro sea que la enseñanza de las ciencias es compleja. Se trata de un proceso en el que concurren conocimientos y experiencias profesionales, ciencias y teorías sobre educación, visiones sobre la ciencia y posiciones frente a sus descubrimientos, factores ideológicos, etc. Sin duda, son demasiadas variables para encontrar contestaciones universales.

En este capítulo queremos compartir con los lectores y lectoras algunas reflexiones, informaciones, experiencias y preocupaciones sobre los contenidos que enseñamos. Para ello, creemos interesante empezar casi por el principio.

¿Qué no son las ciencias?

Creemos que la propia ciencia es un referente obligado en muchas de las decisiones que tomamos en nuestra práctica educativa (por ejemplo, en relación con los contenidos que se debe enseñar). Esto justifica que necesitemos conocer cómo se ha construido el conocimiento científico (*Alambique*, 1996). Sin embargo, como no podía ser de otra manera, siempre ha habido y hay controversias en este tema. De hecho, podemos apreciar que, a lo largo de la historia, no se ha dado una respuesta única a este interrogante. Por eso, haremos lo que muchas veces recomendamos al alumnado. Empezaremos al revés: ¿qué no son las ciencias?

Cuando la pregunta se formula en estos términos, parece existir mayor consenso a la hora de criticar algunas posiciones. De hecho, muchos especialistas (Chalmers, 1984; Mellado y Carracedo, 1993; Duschl, 1997; Echeverría, 1999; Izquierdo, 2000; etc.) han rechazado las llamadas concepciones clásicas, empiristas, positivistas, neopositivistas o racionalistas, aunque no todos se hayan apoyado en las mismas razones. Hemos resumido algunos de los planteamientos criticados en el cuadro 1 de la página siguiente.

Cuadro 1. Algunas concepciones no aceptadas sobre las ciencias

CONCEPCIONES CRITICADAS SOBRE LA NATURALEZA DE LAS CIENCIAS

- Las únicas fuentes del conocimiento son la observación (concepción clásica), la experimentación (empirismo) o la razón (racionalismo).
- La observación y la experimentación son objetivas. La ciencia es objetiva puesto que el investigador no interfiere en la realidad.
- La realidad es una, y está regida por leyes y mecanismos naturales que la ciencia debe descubrir.
- El conocimiento se descubre aplicando el método científico; este método, usado por los científicos en sus descubrimientos, nos lleva a la verdad.
- La ciencia es una acumulación de hechos, fenómenos, leyes y teorías de carácter universal; los conceptos son el fundamento del conocimiento científico.
- Los enunciados observacionales son los que tienen significado (fiscalismo).

Más que añadir nuevas críticas desde una perspectiva epistemológica o profundizar en los argumentos de los autores mencionados, lo que queremos destacar es que estas concepciones respaldan unos modelos determinados de enseñanza: es decir, unas formas de actuar en el aula.

¿Creemos que la ciencia es empirista?

Si alguien tiene una visión empirista de las ciencias, debería enseñar prioritariamente a sus estudiantes a observar y a experimentar porque, a través de la observación y de la experimentación, llegarían a descubrir por sí mismos las leyes de la naturaleza.

Muchas investigaciones han llegado a la conclusión de que un número importante de profesores tienen creencias empiristas. En nuestro contexto educativo, da la impresión de que esto no es así. Si este modelo estuviera tan asentado, seguramente se utilizarían muchas actividades experimentales en las aulas. Dado que la experiencia no lo indica, o bien el empirismo está menos extendido de lo que parece o bien habría que pensar que el modelo de ciencia que se defiende no influye en las decisiones didácticas. Nosotros, en este momento, nos inclinamos por la primera opción.

La pretendida importancia concedida a la observación y a la experimentación, a la objetividad, al poder de la inducción... o la defensa que se hace de ideas como «lo que no se hace, se olvidan, así se enseña, se impide descubrirlo... no muestran lo que realmente pensamos y mucho menos lo que hacemos. Si el profesorado estuviera tan seguro de la eficacia de las actividades experimentales, ¿no se invertiría la relación entre el número de sesiones teóricas y prácticas?, ¿no tendrían estas tareas una influencia más determinante en la calificación académica?»

¿Creemos que la ciencia es sólo racionalista?

Si se apuesta por un racionalismo excluyente, lo prioritario sería desarrollar la lógica y el razonamiento del alumnado, mientras que la enseñanza de los contenidos específicos sería secundaria.

Parece que estas posiciones son menos defendidas por los profesores. Hay que tener presente el enorme «componente disciplinar» que arrastra la profesión en nuestro contexto educativo (algunos compañeros dicen sentirse químicos o biólogos antes que educadores en ciencias); probablemente el modelo de formación inicial favorezca esta circunstancia. Por todo ello, «impartir lógica y razonamiento» y «dejar pontáneamente del profesorado de ciencias».

Creemos que hay una escasa presencia de este tipo de racionalistas. En cualquier caso, ¿sabemos qué contenidos de nuestra asignatura favorecen más la lógica y el razonamiento de los estudiantes?

¿Creemos que la ciencia es positivista?

Si un profesor o profesora se considera positivista, debería transmitir a sus estudiantes los conceptos inalterables de la materia, las verdades de su disciplina y las características del método científico para que los alumnos, por sí solos o con la ayuda de los libros, puedan acceder a nuevos «conocimientos verdaderos».

Si se comparten estas creencias, se debe transmitir una ciencia acumulativa; presentarla como un cuerpo comprobado de conocimientos, en el que los conceptos constituyen su razón de ser; poner énfasis en que el alumno reproduzca definiciones, leyes, fórmulas, teorías... Todas estas características si parecen más habituales en algunas clases de ciencias.

Pero también es coherente con el positivismo pensar que el alumnado debe adquirir sólo las teorías «suficientemente contrastadas» (¿podemos asegurar que los contenidos que se imparten están actualizados científicamente?) y, por supuesto, es fundamental enseñarle el método científico (además de cuestionar que exista un método único y universal en todos los descubrimientos científicos, ¿es suficiente con el «tema cero» que aparece en algunos de los programas que impartimos?).

Antes de concluir este apartado sobre qué no son las ciencias, quisiéramos resaltar dos apreciaciones:

- Si se asume alguna de estas tres posiciones, tendremos que admitir que no todos nuestros conocimientos profesionales están actualizados. El positivismo, por acudir al enfoque más moderno, es una concepción predominante a finales del siglo XIX y principios del XX. Sería deseable revisar el modelo que tenemos sobre la construcción del conocimiento científico para adecuarlo a concepciones más modernas.
- Aunque estas concepciones tienen fundamentos muy distintos y se ubican en momentos históricos diferentes, pueden tener algo en común: facilitan una coartada si el alumnado no aprende. Siempre será por su culpa: porque no ha observado o experimentado adecuadamente, porque no ha sabido usar los conceptos y el método que les hemos transmitido o porque no ha utilizado la lógica de la que le hemos dotado. Por supuesto, no creemos que los problemas que los estudiantes tienen en su aprendizaje se deban exclusivamente a ellos.

Sin entrar en más consideraciones sobre estos planteamientos –ya que nos alejaría de las intenciones de este trabajo– resulta obligada la pregunta siguiente.

¿Qué son las ciencias?

Frente a todas estas concepciones, poco aceptadas por la mayoría de los filósofos, la llamada *nueva filosofía de las ciencias* hizo contribuciones interesantes que pueden invitarnos a reflexionar. En el cuadro 2 hemos resumido algunas de dichas aportaciones.

Posteriormente han surgido nuevos planteamientos (el anarquismo epistemológico de Feyerabend, el enfoque cognitivo de Giere...) que, sin duda, nos sitúan ante un debate apasionado y apasionante para que reflexionemos sobre la adecuación del

Cuadro 2. Algunos planteamientos aportados desde la NFC

FALSACIONISMO (POPPER)	<ul style="list-style-type: none"> La observación y la experimentación no son objetivas. Una teoría debe ser falsable y capaz de realizar predicciones. Una teoría científica se rechaza por experimentos cruciales que la contradicen. La ciencia crece por sucesivas conjeturas y refutaciones.
PROGRAMAS DE INVESTIGACION (LAKATOS)	<ul style="list-style-type: none"> Los programas de investigación tienen un núcleo central resistente al cambio. Una teoría no es falsada por disponer de pruebas o experiencias en contra; una teoría desplaza a otra por su mayor poder explicativo. El progreso científico se produce por competencia entre programas de investigación.
TRADICIONES DE INVESTIGACION (LAUDAN)	<ul style="list-style-type: none"> La ciencia tiene como fin dar respuesta a problemas. Los cambios ontológico y metodológico en las tradiciones de investigación se producen a la vez. El progreso no se produce por competencia de tradiciones sino por cambio de problemas.
EVOLUCIONISMO (TOULMIN)	<ul style="list-style-type: none"> Existe una analogía entre la construcción del conocimiento y la evolución biológica (ecología intelectual): las ideas científicas forman poblaciones conceptuales que evolucionan. Ante problemas no resueltos, las teorías científicas evolucionan por presión colectiva. Siempre coexisten conceptos de las viejas y de las nuevas teorías.
REVOLUCIONISMO (KUHN)	<ul style="list-style-type: none"> Existe la ciencia normal (acumulativa) y la revolucionaria (nuevos paradigmas). El cambio de paradigma (creencias, valores y técnicas compartidos por una comunidad científica) se produce por una crisis del viejo paradigma. Los nuevos paradigmas deben tener mayor capacidad para resolver problemas.

modelo de ciencia que trasmitimos en nuestras clases. Remitimos a los interesados a los trabajos de Estany (1993), Jiménez (1996a) o Echeverría (1999).

En este trabajo sólo queremos resaltar que, si admitimos que éstas son concepciones más actualizadas (a pesar de sus diferencias o de la existencia de nuevos modelos), estamos asumiendo implícitamente que:

- La ciencia se basa en la resolución de problemas, de los que surge la necesidad de conceptos o leyes; los problemas no se plantean para aplicar la teoría» previamente elaborada.
- La ciencia no es sólo un conjunto de productos (conceptos, leyes y teorías) elaborados y acumulados; tanto los productos como los procesos son instrumentos inseparables del conocimiento científico.
- La observación y la experimentación son procedimientos importantes aunque no necesariamente objetivos ya que se ven condicionadas por los conocimientos de la persona que las hace (en consecuencia, no siempre producen un «único resultado» y, mucho menos, una sola interpretación).
- La observación y la experimentación no son los únicos ni los más importantes procesos usados por las ciencias en su evolución; la identificación de problemas, la emisión y el contraste de hipótesis, el lenguaje y la comunicación, la realización de explicaciones y predicciones, etc. han ocupado un lugar preferente en el desarrollo científico.
- El pensamiento convergente, el razonamiento lógico-deductivo, el pensamiento divergente, la creatividad, la comunicación, etc. son factores intelectuales que forman parte de la construcción y de la evolución del conocimiento científico.
- Las comunidades de científicos han sido siempre bastante conservadoras; los cambios profundos –los que se apartan de la ciencia oficial– no han sido fácilmente aceptados.
- La mayor parte de los descubrimientos se han apoyado en el trabajo en equipo; la discusión y el debate colectivo, y el contraste de ideas ha favorecido la evolución del conocimiento.
- La ciencia suele construir teorías que son útiles para comprender el mundo; cambiar una teoría antigua por una nueva implica crear la necesidad de modificarla, presentar una alternativa inicialmente mejor, aplicarla y valorar la mejora producida, y explorar su potencial explicativo.
- No ha existido un método único y universal para llegar a todos los conocimientos.
- La actividad de los científicos (programas o tradiciones de investigación, paradigmas, poblaciones conceptuales, etc.) se ha desarrollado con los mismos presupuestos de cualquier actividad humana: «afiliación» a líneas de trabajo o teorías, controversias en las explicaciones ante un mismo hecho, debates enconados en la defensa de distintas posiciones...
- Las ciencias no son un conjunto de conocimientos neutros, estáticos y alejados de los ciudadanos. A sus repercusiones en la calidad de vida o en el desarrollo tecnológico hay que añadir su influencia en la forma de pensar, en la organización social o en los cambios de hábitos de comportamiento.

Si usamos estas características de las ciencias como fundamento inspirador de su enseñanza, estas consideraciones implican, quizás, cambios importantes en algunos aspectos de la tarea docente: en los objetivos de enseñanza, en la selección de los diferentes tipos de contenido, en la importancia de los conocimientos iniciales de los alumnos, en la necesidad de usarlos en el proceso de aprendizaje, en el papel de los trabajos prácticos, en el enfoque de los problemas, en la dinámica de trabajo en el aula, en la comunicación y en la argumentación, etc. Aunque a lo largo de este libro volveremos sobre muchas de estas ideas, la finalidad de este capítulo nos lleva a plantearnos las preguntas siguientes.

¿Qué conocimientos aportan las ciencias y cuáles de ellos podemos usar en su enseñanza?

Plantearse qué conocimientos forman parte de las ciencias no es algo nuevo, aunque la respuesta no sea la misma para todo el mundo. Cada profesor tiene –o por lo menos transmite– una visión de las mismas al enseñar (contenidos seleccionados, tipo de actividades de enseñanza, forma de evaluar el aprendizaje, etc.) y, en consecuencia, ésta llega al alumno como un contenido formativo más.

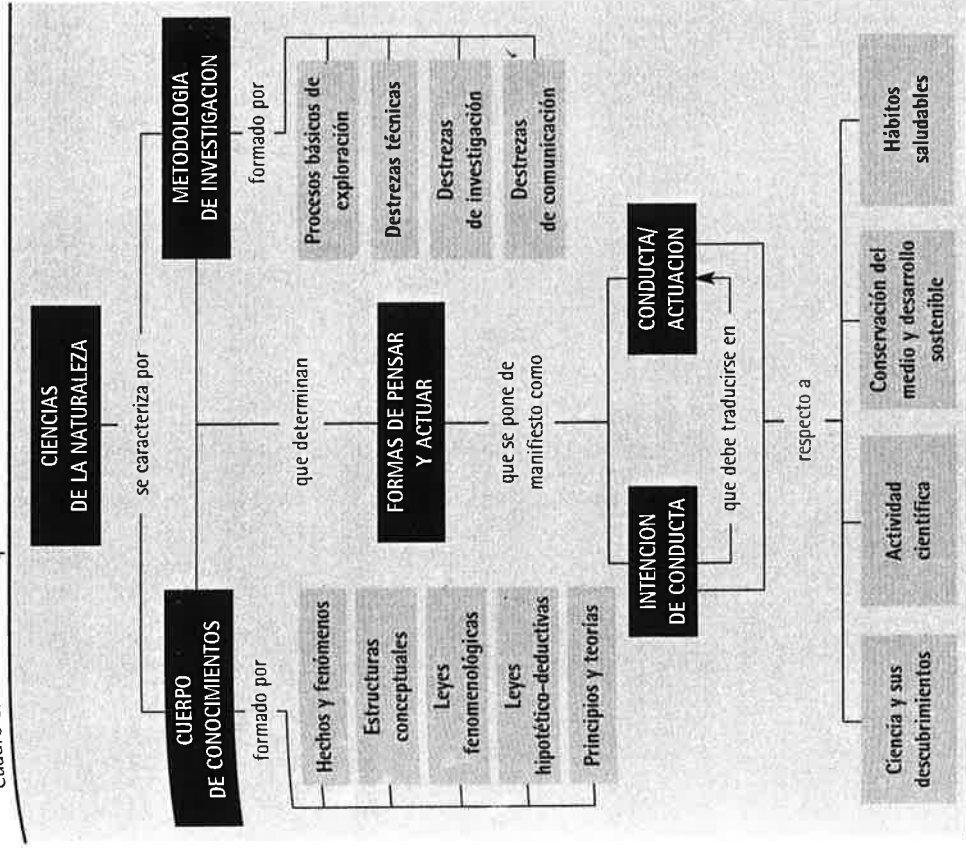
Con todas las limitaciones que lleva consigo cualquier simplificación, hemos esquematizado nuestra perspectiva sobre la cuestión en el cuadro 3.

Como puede verse, nuestra percepción sobre los conocimientos científicos contempla no sólo un cuerpo teórico, más o menos estructurado y contrastado, sino los procesos que han llevado a la construcción de esos productos intelectuales y los valores culturales deseables en este ámbito del saber.

Desde nuestro punto de vista, esta visión de las ciencias debe tener repercusiones en su enseñanza: en particular, en la selección de los contenidos que queremos que aprendan nuestros alumnos. Con este marco de referencia hay que enseñar las leyes de Newton, la ley de Lavoisier, las leyes de Mendel o la teoría de la tectónica de placas. Pero también debemos dedicar tiempo, por ejemplo, a enseñar a identificar las variables de un problema, a emitir y contrastar una hipótesis, a analizar un hecho o un fenómeno de la vida cotidiana, a predecir qué ocurriría si modificamos una condición determinada, a llegar a conclusiones coherentes con los resultados intermedios, a buscar información acerca de un tema, a estudiar un fenómeno mediante una simulación, a ser rigurosos y precisos en la recogida de unos datos, a valorar la significación tecnológica y social de un hallazgo, o a adquirir hábitos de vida saludables.

En definitiva, si no damos por supuesto que el alumnado, por el hecho de disponer de un libro o unos apuntes, aprende automáticamente las estructuras conceptuales, leyes y teorías de las ciencias, tampoco deberíamos suponer que va a aprender por su cuenta (¿sin ni siquiera la ayuda de un libro de texto en este caso?) los contenidos procedimentales y actitudinales que hemos mencionado. Podrían aportarse muchas razones para apoyar esta posición, pero quizás baste con una. Si no los aprende (o lo hace de forma inadecuada) puede hipotetizar la adquisición de otros contenidos que a veces parecen ser los únicos que nos preocupan: los conceptuales.

Cuadro 3. Características que definen a las ciencias



Ahora bien, el hecho de considerar la naturaleza de las ciencias como un fundamento de su enseñanza no debe confundirnos: no es lo mismo la ciencia de los científicos que la ciencia escolar (Jiménez, 1992). Centrándonos en las características de los «usuarios» podemos encontrar diferencias importantes:

- Se supone que los científicos eligen «libremente» el estudio de una parte de las ciencias como eje de su actividad profesional. Los estudiantes –sobre todo, en la educación obligatoria– son «obligados» a estudiar las ciencias.
- Los científicos no son especialistas en todos los ámbitos del conocimiento científico (aunque fueran contemporáneos, no tenemos noticia de que Ohm

supiera mucho de la penicilina, ni Fleming de los conductores lineales). Los alumnos deben aprender «todas» las ciencias.

- Los científicos dedican todo el día a trabajar sobre tareas similares en un campo muy limitado de la investigación. Los alumnos deben simultáneas el estudio de las ciencias con el de otras materias (lengua, idioma extranjero, dibujo...) con las que tienen pocos puntos de encuentro.
- Los científicos defienden sus ideas con vehemencia, usando argumentos que han sido fruto de numerosas reflexiones y experiencias. Los alumnos no suelen implicarse en la defensa de sus creencias científicas que, por otro lado, son más superficiales y están menos respaldadas por sus vivencias.
- Se supone que los científicos deben tener un gran desarrollo de sus capacidades intelectuales. Los alumnos están desarrollándose intelectualmente pero tienen aún importantes limitaciones cognitivas.

Por lo tanto, no podemos establecer un isomorfismo completo entre cómo se usan los conocimientos en una comunidad de científicos e investigadores (probablemente tampoco entre el profesorado), y cómo se hace en el aula. Creemos que el origen de algunos problemas que se están dando en las clases de ciencias de educación secundaria se encuentra en ignorar estas consideraciones y sus implicaciones en el proceso de enseñanza y de aprendizaje.

Además, el problema de la selección de los contenidos no está sólo en los estudiantes (¿por qué siempre se piensa que sólo dificultan la enseñanza?). Si hay que orientar las asignaturas de ciencias a atender las necesidades que tienen como personas y ciudadanos en este ámbito, es importante la proximidad de los contenidos a los problemas cotidianos. Pensemos un momento en una situación hipotética. Supongamos que mañana tenemos en clase a Aristóteles; sin duda, una persona con una gran capacidad intelectual e interesada por los nuevos conocimientos. El reto que se nos plantea como profesores sería el siguiente: ¿cómo le explicamos los problemas existentes en relación con el uso de la energía nuclear? ¿cómo abordamos si es posible hacer otro Aristóteles clonándolo como a la oveja Dolly? ¿qué le diríamos sobre el riesgo que entrañan o no las antenas de telefonía? ¿cómo le planteamos qué es el Discovery o qué son los satélites de comunicaciones? ¿y si nos pregunta qué es y cómo podemos hacer una colonia, una crema hidratante o un lápiz de labios?... Y, por supuesto, ¿cómo le enseñaríamos a chatear en Internet, a enviar un mensaje con un móvil y a comprimir toda la discografía de Pink Floyd en un CD con MP3?... No estaría de más plantearse con una cierta periodicidad: ¿cómo contribuyen los contenidos que impartimos a la formación que demandan todas estas cuestiones?

En cualquier caso, es evidente que los diferentes tipos de contenidos escolares tienen como referentes a sus correspondientes conocimientos científicos. Por ello, en el cuadro 4 hemos incluido unas clasificaciones de los conceptos, los procedimientos y las actitudes que derivan del modelo descrito en el cuadro 3 de la página anterior (Pro, 1995; 1998; 2000); hemos ejemplificado más los dos últimos.

Hemos de advertir que esta diferenciación es semántica ya que creemos en una ciencia más integrada que sumativa, en la que los contenidos están relacionados. No olvidemos que, como dice Ausubel, aprender es establecer relaciones. No obstante, algu-

Cuadro 4. Contenidos objeto de enseñanza y aprendizaje de las ciencias

CONCEPTUAL			
Hechos/ acontecimientos Leyes fenomenológicas	Conceptos Leyes hipotético-deductivas	Estructuras conceptuales Principios	Constructos Teorías
PROCEDIMENTAL			
Destrezas técnicas	Destrezas básicas	Destrezas de investigación	Destrezas de comunicación
<ul style="list-style-type: none"> • Realización de montajes. • Construcción de aparatos. • Construcción de maquetas. • Utilización de técnicas informáticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación. • Clasificación. • Seriación. • Medición. • Tabulación o representación de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de problemas. • Emisión de hipótesis y realización de predicciones. • Relación entre variables: control y exclusión. • Diseño experimental. • Análisis e interpretación de datos y situaciones. • Uso de modelos interpretativos. • Establecimiento de conclusiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Representación simbólica. • Identificación de ideas en material escrito o audiovisual. • Utilización de diversas fuentes. • Elaboración de informes o materiales.
ACTITUDINAL			
Actitud hacia las ciencias	Actitud en la actividad científica	Respeto por el medio	Hábitos saludables
<ul style="list-style-type: none"> • Interés por las ciencias. • Valoración del trabajo científico: importancia y dificultades. • Apreciación de las limitaciones y la provisionalidad de los conocimientos. • Valoración de la incidencia tecnológica y social del conocimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rigor y precisión en la recogida de información. • Honestidad intelectual. • Coherencia entre datos, análisis, inferencias o conclusiones de éstos. • Tolerancia y respeto a los demás. • Curiosidad. • Creatividad en la emisión de hipótesis, diseño de estrategias, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración de las aportaciones de la ciencia en la mejora del medio. • Adopción de posturas críticas frente al deterioro del ambiente. • Preocupación por el desarrollo sostenible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adopción de hábitos de comportamiento saludables. • Adopción de posturas críticas frente a conductas no saludables. • Adopción de hábitos de higiene corporal y mental. • Conocimiento y uso de servicios de la comunidad relacionados con la salud y el consumo.

Cuadro 5. Evolución de las concepciones sobre el movimiento

MARCOS DE REFERENCIA	CONCEPCIONES SOBRE EL MOVIMIENTO
<p>Aristóteles (384-322 a. C.)</p> <ul style="list-style-type: none"> La explicación de los fenómenos es metafísica. Hay un movimiento natural (debido a un motor interno) y otro forzado o violento (motor externo). La materia está compuesta por cuatro elementos. No existe el vacío pero existe la quinta esencia. La Tierra es el centro del universo. 	<ul style="list-style-type: none"> La antiperistasis como causa del movimiento violento. La velocidad de caída de los objetos depende directamente de la fuerza motriz interna e inversamente de la resistencia del medio; si cambia la velocidad, cambian las fuerzas: Si $F > R \Rightarrow v \propto F/R$
<p>Baradian (1300-1358)</p> <ul style="list-style-type: none"> Influencia religiosa; se aceptan algunas ideas aristotélicas (escolástica). Movimiento disforme y disformemente disforme. Aparece la teoría heliocéntrica (Copérnico). 	<ul style="list-style-type: none"> El <i>impetus</i> como causa del movimiento. La velocidad de caída depende de la gravedad (constante) y del <i>impetus</i>; aumenta con el tiempo porque adquiere más <i>impetus</i>.
<p>Galileo (1564-1642)</p> <ul style="list-style-type: none"> Utiliza métodos matemáticos y experimentales. Define el movimiento rectilíneo y uniforme: distancias iguales en tiempos iguales. Define el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado: aumentos de velocidad iguales en tiempos iguales (ley de números impares). 	<ul style="list-style-type: none"> La fuerza impresa como causa del movimiento. La velocidad de un cuerpo en caída libre es la misma, con independencia del peso: $v \propto (F - R)$. Evoluciona desde: $v \propto s \rightarrow s \propto t^2$.
<p>Newton (1642-1727)</p> <ul style="list-style-type: none"> El tiempo, la masa y el espacio son invariantes. Aporta la ley de la gravitación universal. La relación entre las posiciones y la velocidad en un sistema de referencia que se mueve con una velocidad y cumple las ecuaciones de Galileo. 	<ul style="list-style-type: none"> Mantiene la idea de fuerza impresa pero proporciona una explicación dinámica como causa del movimiento. Introduce el concepto de inercia. Relaciona F y la aceleración (no la velocidad).
<p>Einstein (1879-1955)</p> <ul style="list-style-type: none"> Los cuerpos no pueden tener una velocidad superior a la de la luz; ésta es constante en el vacío. Las leyes físicas son invariantes en los sistemas inerciales. El carácter relativo de espacio y tiempo da lugar a la dilatación del tiempo y contracción del espacio. Enuncia el principio de conservación masa-energía. 	<ul style="list-style-type: none"> Las relaciones entre las posiciones y la velocidad cumplen las transformaciones de Lorentz.

nos mantienen la distinción organizativa en las clases de ciencias (teoría + problemas + prácticas). Desde luego esta decisión no resulta muy coherente desde la visión actual de la naturaleza de las ciencias; además, parece poco probable que el alumno, por sí solo, sea capaz de integrar los conocimientos de las «tres asignaturas» que está estudiando.

A grandes rasgos puede decirse que este panorama nos plantea, como mínimo, una ventaja y un inconveniente. La ventaja es que se amplían las posibilidades formativas de las ciencias; si éstas eran ya grandes desde una perspectiva conceptual, los otros contenidos multiplican la utilidad para el ciudadano de la calle (aunque no sea ni vaya a ser científico). El inconveniente es que, al saber que hay otras alternativas a los conocimientos que enseñamos, somos responsables de la selección que realicemos y no es una tarea fácil.

Ahora bien, si que podremos crear situaciones de aprendizaje que tengan como referente la forma de pensar y hacer de los científicos (como veremos en este y otros capítulos de este libro) pero sin ignorar que los protagonistas son personas de diferentes características y que el objetivo último de nuestra acción educativa es la formación básica como ciudadanos.

Sabemos que las ciencias –sus productos, sus procesos, y sus formas de hacer y pensar– no han sido fruto de un momento. Detrás de cualquier hallazgo o descubrimiento hay pequeñas y grandes aportaciones, individuales y colectivas, anónimas y reconocidas, aceptadas y controvertidas, demostradas o especulativas, etc. Parece lógico pensar que tanta pluralidad nos pueda dar más pistas sobre el qué enseñar.

¿Cómo se han construido los conocimientos científicos?

El volumen de los conocimientos científicos que se han construido a lo largo de la historia es enorme y esto multiplica las consideraciones que podemos hacer al respecto. Por ejemplo, una que resulta ya «clásica» sería la que aparece en el cuadro 5, que recoge esquemáticamente la evolución histórica de las concepciones sobre el movimiento (Piaget y García, 1982; Azcárate, 1984; Alfonso, 1996; Peduzzi y Zylbersztajn, 1997...).

El primer aspecto que cabe destacar es que la construcción de un concepto tan cercano como la velocidad ha tardado más de veinte siglos en formalizarse, y posiblemente no esté completo. Podemos aceptar que no es un concepto intuitivo o improvisado y, sin embargo, todavía manifestamos cierta sorpresa cuando nuestros alumnos piensan que cuando lanzamos una pelota, le dotamos de una fuerza que va perdiendo mientras sube o no saben resolver el problema de los trenes que salen de distintas estaciones.

Otro aspecto destacable es que, durante muchos siglos, se plantea el problema y se busca una solución desde la discusión metafísica, ¡con lo fácil que era lanzar las bolitas o disparar una flecha!... Pero es que, del mismo modo que las estructuras conceptuales, los métodos y procesos científicos se han ido modelando con la propia evolución de la ciencia y, aunque algunos profesores parecen olvidarlo, este modelado tampoco ha sido trivial.

En este mismo contexto, hoy en día puede parecer inconcebible que, durante tanto tiempo, se intentara dar una interpretación religiosa o trascendente a unos hechos físicos (¿y nos sorprende el auge de los adivinos y de la pseudociencia?). Creemos que la visión de que la ciencia, impermeable al contexto social, avanza hacia una hipotética verdad no se sostiene, aunque se enseñe como si así fuera.

También cabe llamar la atención sobre el hecho de que el concepto de velocidad nunca se ha construido de forma independiente. Con independencia del marco de referencia que se haya utilizado a lo largo de su historia, este conocimiento no es un «ente aislado» que tiene un significado por sí mismo, sino que lo adquiere cuando lo ponemos en relación con otras construcciones: reposo, movimiento, tiempo, desplazamiento, trayectoria, etc.

Aún se podrían seguir extrayendo ideas e implicaciones en torno a esta cuestión, pero hay hallazgos de otras disciplinas que también nos permiten identificar características de la construcción del conocimiento científico. En el cuadro 6 aparecen algunas afirmaciones realizadas por dos reconocidos naturalistas (Leclerc, conde de Buffon, y Lamarck) sobre el concepto de especie, lógicamente en diferentes momentos de sus vidas (Barberá, 1994).

Cuadro 6. Ejemplo de cambios de ideas en los científicos (de Barberá, 1994)

	LECLERC, CONDE DE BUFFON (1707-1788)	LAMARCK (1744-1829)
Antes dijo...	Existencia de individuos, no de especies: «Muchos individuos representa un número finito, y la especie es el número infinito; por los mismos medios que se puede demostrar que la infinitud geométrica no existe, se puede asegurar que la progresión o desarrollo hasta el infinito no existe. Es una idea que sólo procede de la abstracción.»	Especie basada en la descendencia: «Tanto en botánica como en zoología, la especie está constituida por el grupo completo de individuos semejantes que perpetúan su clase mediante la reproducción... Algunos individuos presentan diferencias accidentales que son la base de las variedades...»
Después dijo...	Inmutabilidad de las especies: «Las especies de animales y plantas son, por consiguiente, inagotables. Mientras sigan existiendo seres individuales, continuará renovándose la especie de los mismos». De hecho, cada especie de hoy es igual que hace tres mil años.	Especies mudables: «Sólo aquellos naturalistas que se han ocupado mucho en la determinación de las especies y que han consultado las más ricas colecciones, pueden saber hasta qué punto las especies, entre los cuerpos vivientes, se funden las unas en las otras, y son los únicos que han podido convencerse de que en las partes donde vemos especies aisladas es porque nos faltan otras que se aproximan a ellas y que aún no han sido recogidas.»

Como puede verse, los cambios de concepciones y creencias no sólo se dan cuando se trata de distintas épocas o diferentes personas. Sin embargo, a menudo presentamos el conocimiento científico como algo seguro e incuestionable que no se corresponde con la realidad. La mayoría de los investigadores –los que aparecen en el cuadro son sólo un ejemplo– han tenido ideas confusas, contradictorias, complementarias e incompletas que se han ido modificando con la propia evolución de sus conocimientos. Es más, a veces, sus segundos hallazgos han supuesto un «retroceso» en sus avances (desde la perspectiva de lo que actualmente parece vigente). Cuando hablamos del proceso de construcción, no nos referimos a un producto comprobado y un camino sin vacilaciones, del que ya se conoce el final de modo que sólo se trata de que nos acerquemos a él.

Pero, además, llama la atención la rotundidad con la que son defendidas posturas tan antagónicas: ¿serían conscientes los autores de sus «cambios de chaqueta»? ¿cómo los percibirían internamente, desde una perspectiva personal? ¿se puede cambiar de opinión en las ciencias? ¿los cambios de todos son aceptados por todos?... Y, al hilo de estas preguntas, siempre nos planteamos la misma cuestión: ¿qué aportaron sus «fracasos» a la construcción de sus conocimientos?

Incluso, nos atrevemos a ir un poco más lejos. Es posible que estas contribuciones –las unas y las contrarias– fueran reconocidas y aplaudidas como grandes logros de su época. Pero, ¿cómo serían vistas actualmente por los partidarios del concepto biológico de especie? ¿han dejado de tener valor porque ahora no estén vigentes?

También la química tiene cosas que decirnos en este tema. En el cuadro 7, se recogen algunos datos biográficos de Scheele y de Lavoisier que nos pueden ayudar a

Cuadro 7. Algunos datos biográficos de Scheele y Lavoisier

KARL SCHEEL (1744-1788)	ANTOINE LAVOISIER (1742-1794)
<ul style="list-style-type: none"> Farmacéutico sueco. Vive austeramente en Köping. Consagra su vida a la química; de hecho, muere a causa de una intoxicación en su laboratorio. Se especializa en la obtención, el análisis y el reconocimiento de nuevas sustancias. Aunque piensa que la química tiene importantes problemas teóricos, se centra en buscar qué elementos forman las diferentes sustancias. Realizó innumerables descubrimientos; quizás el más importante sea el oxígeno (anticipándose a Priestley). También descubrió la barita, el ácido sulfhídrico y el arsenhídrico, el arseniuro de cobre, la glicicina y otros ácidos. Aisló el fósforo, a partir de los huesos, y reconoció como nuevos elementos el manganeso, el molibdeno y el flúor. 	<ul style="list-style-type: none"> Abogado francés. Participa en importantes cargos en la administración; recaudador de impuestos; asesor y director de proyectos del gobierno. Es crítico frente a los métodos de investigación de la química de la época, dado que utilizan la teoría del flogisto. Le atrae la utilización de las matemáticas para dar sentido a los estudios experimentales. Descubre y demuestra la ley que lleva su nombre: «la materia ni se crea ni se destruye, sólo se transforma». Con su teoría de la oxidación justificó muchas experiencias (combustión, herrumbre, respiración humana...). Afirmó que las tierras metálicas son óxidos y que el agua está compuesta por oxígeno e hidrógeno.

Cuadro 8. Ejemplo de interpretaciones condicionadas por los marcos teóricos

KARL SCHEELE (1744–1788)	ANTOINE LAVOISIER (1742–1794)
<ul style="list-style-type: none"> En 1772 reconoce y aísla un nuevo gas llamado oxígeno. Realiza experimentos para relacionar el aire y la combustión. En 1774 los recoge en el libro <i>Abhandlungen über den Luft und der Feuer</i>, por un olvido, aparece en 1777. Llega a dos conclusiones: el aire no es un elemento porque sólo una parte de él es apta para la combustión; tampoco lo es el fuego ya que está formado por aire de fuego y flogisto. 	<ul style="list-style-type: none"> En 1772 empieza a investigar sobre el aire y el calor. Va por detrás de otros químicos contemporáneos (Priestley, Scheele...). Completa su teoría sobre la composición del aire y la combustión en 1777. Llega a la misma conclusión que Priestley y Scheele en cuanto a que el oxígeno es la parte del aire que permite la combustión.
<ul style="list-style-type: none"> Adapta la interpretación a la teoría del flogisto. Las sales son elementos y los metales compuestos de cal y flogisto; el aire y el fuego no son elementos; el calor es una sustancia compuesta. Por ello: <p>cal de mercurio + calor (aire de fuego + flogisto) → mercurio (cal + flogisto) + aire de fuego</p>	<ul style="list-style-type: none"> No usa la teoría del flogisto porque no lo ha encontrado. Las sales son compuestos y los metales elementos; el calor es una sustancia simple. Por ello: <p>cal de mercurio (metal + oxígeno) + calor → oxígeno gas (oxígeno + calor) + mercurio</p>
<p>Para ambos, los elementos se conservan en la reacción y esto debe detectarse con una balanza.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Analiza lo que tiene antes y después de la reacción e infiere nuevas sustancias (composición, propiedades). 	<ul style="list-style-type: none"> Hace balance cuantitativo (debe y haber contables) antes y después de la reacción.

comprender sus aportaciones y, en el cuadro 8, las interpretaciones que realizan, ante una experiencia similar, calentar «cal de mercurio» (óxido de mercurio) desde sus diferentes marcos teóricos (Izquierdo, 1996).

Lo primero que destaca es que, a partir de observaciones, experiencias y métodos similares, no se llega a las mismas conclusiones (si no, Scheele y Lavoisier hubieran llegado a la misma). La influencia de marcos teóricos diferentes (uno con su teoría del flogisto y otro sin ella) lleva a «ver» cosas distintas. También entre los científicos, los conocimientos y las creencias condicionan sus interpretaciones, lo que cuestiona profundamente uno de los «falsos pilares» de las ciencias: las pruebas.

También se puede percibir que el punto de partida no es una observación ni ésta es objetiva. Ambos se plantean un problema, emiten su hipótesis, diseñan experiencias, analizan los resultados y los interpretan, y la creatividad está presente en todo el proceso. Ahora bien, como no es algo que se desarrolle de una única forma, la divergencia final es lógica.

Por otro lado, parece que los valores y formas de vivir de los científicos, a priori alejados de su quehacer profesional, condicionan –para bien o para mal– sus hallazgos y aportaciones en la ciencia ¿hubiera llegado Lavoisier a su ley de conservación si no hubiera sido recaudador de impuestos?; nunca lo sabremos...). Pero, desde luego, esto cuestiona ese aparente desdoblamiento de la personalidad que muchas veces parece asignarse al personaje como científico y como ser humano. La actividad científica pasa a ser, ni más ni menos, que una actividad humana, con aspectos positivos y otros que no lo son tanto.

Una circunstancia que no queda suficientemente recogida en los cuadros anteriores es la crítica demoledora que hace Lavoisier de la obra de Scheele y que recoge Izquierdo (1996) en su trabajo. Si analizamos las investigaciones con un poco de perspectiva, se puede decir que el planteamiento y los resultados no son tan diferentes pero, sea por motivos exclusivamente científicos o por otros menos confesables, no son un ejemplo de la tolerancia ni de una utilización adecuada de la crítica a las ideas de otros. Esa imagen, un tanto versallesca, de un debate pausado, controlado y educado de las teorías científicas no parece que haya sido una señal de identidad universal...

Por último, nos vamos a referir a un trabajo realizado por Banet (2001) en el que describe la evolución histórica de las concepciones sobre los procesos implicados en la nutrición. Hemos tratado de resumirlo en el cuadro 9 de la página siguiente; además de señalar los autores más emblemáticos de cada periodo de tiempo y describir los conocimientos más relevantes, se alude al modelo o metodología de investigación utilizado.

En primer lugar, quisiéramos destacar que los cambios de ideas o de marcos teóricos no sólo afectan a las estructuras conceptuales; normalmente los cambios de paradigmas se han desarrollado paralelamente a cambios de tipo metodológico (nuevos procesos, técnicas, diseños de investigación, etc.) e, incluso, han exigido una acomodación de las formas de pensar y hacer. Esto debería tener mayor significación de cara al aprendizaje del alumnado.

Otro aspecto importante que se desprende de esta historia es que no siempre ha existido un reconocimiento social de los avances científicos. Es más, en algunos casos, se ha pagado con el menosprecio, la descalificación, la burla y hasta con la propia vida (Bruno, Servet...). Muchas veces los enemigos de las ciencias (la religión, la superstición, la tradición...) se sitúan fuera de ella, pero en otras la ciencia normal –la propia comunidad científica del momento– ha sido una rémora insalvable para muchos investigadores (se han «redescubiertos» sus trabajos mucho después de los descubrimientos).

También llama la atención el hecho de que, en algunos casos, los autores de los «nuevos descubrimientos» inicialmente pretendían respaldar, completar o aumentar la veracidad de una teoría o un modelo y han terminado rebatiéndolos. Ahora bien, en estas circunstancias, han existido y se han reconocido unos denominadores comunes: una gran implicación y una enorme creatividad del investigador.

Por último, cabe destacar cómo, a pesar de los compartimentos disciplinares que se dan entre las materias científicas, algunas aportaciones realizadas en la física (escuela mecanicista) o en la química (descubrimiento del oxígeno o avances en la bioquímica moderna) han incidido en temas que tradicionalmente se consideran de

Cuadro 9. Evolución de algunas concepciones sobre procesos implicados en la nutrición

AUTOR	CONCEPCIONES	MARCO TEORICO
s. II al XVI Galeno	<ul style="list-style-type: none"> El aire es una sustancia simple; uno de los cuatro elementos. La digestión consiste en la trituración y cocción del alimento; hay problemas con la interpretación del tránsito de alimentos líquidos. Modelo de Galeno: <ul style="list-style-type: none"> Existen tres órganos básicos: hígado (donde están los <i>spiritus naturales</i>), corazón (<i>spiritus vitales</i>) y cerebro (<i>spiritus animales</i>). La sangre se elabora en el hígado, a partir de unas acciones digestivas sobre los alimentos, y se transporta a los tejidos. La respiración tiene lugar en el corazón y sirve para refrigerar el cuerpo. Las funciones del cerebro están relacionadas con el movimiento, las sensaciones, el pensamiento...; se desarrollan por medio de los nervios. 	<p>Influencia de las creencias religiosas.</p> <p>Métodos basados en la observación.</p>
s. XVI Servet	<ul style="list-style-type: none"> No hay tres tipos de <i>spiritus</i>. Se establece la circulación pulmonar de la sangre; la sangre que procede del corazón se airea en los pulmones y pierde las impurezas. 	Influencia de las creencias religiosas.
s. XVII Harvey Malpighi	<ul style="list-style-type: none"> El órgano responsable de la circulación es el corazón y no el hígado. Se establece el movimiento circular de la sangre. Posible existencia del sistema capilar; se identifican los alvéolos, lugar del contacto del aire y la sangre. 	Métodos basados en la observación y el empirismo.
s. XVIII Priestley	<ul style="list-style-type: none"> El aire es una sustancia compuesta, que contiene oxígeno. La respiración es un proceso pulmonar que incorpora oxígeno a la sangre; se descartan la producción del calor interno, el mecanismo de refrigeración... del corazón. Se justifican las funciones energéticas de los alimentos. 	Fisiología como ciencia desligada de creencias religiosas.
s. XIX Bernard Schwann	<ul style="list-style-type: none"> Se abandonan las teorías vitalistas por las materialistas. Se identifica la naturaleza de las secreciones digestivas; se localizan las acciones químicas del intestino delgado. Se reconoce que la sangre transporta el oxígeno. Se sitúa la respiración en los tejidos; se abandona la idea de la respiración pulmonar. Se establece la teoría celular. Se desarrollan las primeras clasificaciones de los alimentos. 	Fisiología como disciplina cuantitativa y experimental.
s. XX	<ul style="list-style-type: none"> Se redefine la idea de dieta equilibrada; se descubren las vitaminas. Se identifican rutas metabólicas. Se da significado bioquímico y molecular a las acciones digestivas. Se investigan los procesos de biosíntesis. 	Metodología basada en la investigación.

biología. Este acercamiento interdisciplinar es cada vez más patente en muchos problemas actuales (el consumo energético, el desarrollo sostenible, la salud o la contaminación) y, quizás, lleve a revisar el énfasis disciplinar antes de lo que algunos desearan.

Como hemos visto, sin llegar a unas características cerradas de la construcción del conocimiento científico, se pueden identificar algunas tendencias: procesos largos y nada triviales (tanto en las estructuras conceptuales como en los procesos utilizados); avance zigzagueante; actividad científica como una actividad humana; conocimientos y procesos estructurados y no aislados; punto de partida en los problemas y no en la observación; afirmaciones contradictorias y cambios de forma de pensar; provisionalidad de grandes logros intelectuales; predominio de los marcos teóricos en los razonamientos; condicionamientos personales, sociales y de la propia comunidad científica; conservadurismo frente a las nuevas ideas; creatividad (no casualidad) y trabajo; trasvases interdisciplinares; etc.

Podríamos completar este panorama con otros ejemplos que pusieran de manifiesto la importancia del trabajo cooperativo, las diferencias entre una ciencia más solidaria y otra ciencia para la desigualdad o el principio de autoridad. Pero no olvidemos que nuestra «inmersión» en estos hechos históricos sólo pretende buscar algunas pautas para responder a la pregunta acerca de las consecuencias que podemos extraer de todo esto para la enseñanza de las ciencias.

¿Qué consecuencias podemos extraer para la enseñanza de las ciencias?

Indudablemente si los estudiantes fueran científicos, se podrían trasladar al aula situaciones similares a las que viven los científicos. Sin embargo, sabemos que eso no es posible. Ya dijimos que existen diferencias en las características de los usuarios de los conocimientos que obligan a una adaptación pedagógica. Pero, además, hay otras facetas que distancian aún más el espacio de trabajo científico y el aprendizaje de nuestros alumnos. Vamos a comentar brevemente algunas que pueden ilustrar las diferencias.

En el caso de la construcción del conocimiento científico, se puede pensar que *a priori* no suele existir un guía que sabe a dónde se va a llegar (no hay que confundirlo con que no posea hipótesis fundadas pero sin verificar) ni el camino definitivo para hacerlo (aunque existan indicios de cuál es el más adecuado). Sin embargo, en el aula de ciencias, alguien regula la información y facilita situaciones problemáticas: el profesor, que debe conocer el producto y el proceso que se dispone a compartir con sus estudiantes.

Por otro lado, en el caso de la comunidad científica, el objetivo es construir un «conocimiento desconocido», ampliando, modificando o cuestionando el existente. En el aula, tratamos de reconstruir algo que ya fue construido por otros. No obstante, queremos recordar que, desde la perspectiva del estudiante, se trata también de la construcción de algo nuevo. En este sentido, deberían aprovecharse los elementos

afectivos y emocionales que concurren en un «verdadero» logro científico (por ejemplo, valoración y reconocimiento del hallazgo, alegría y complacencia, mejora de la autoestima).

También podemos señalar que la construcción de «cada conocimiento» en las ciencias se alimenta de las aportaciones de innumerables investigadores, unos contemporáneos y otros no. En el caso del aprendizaje de cada estudiante, el conocimiento se nutre de las contribuciones y experiencias personales: el que aprende o no, es «un» alumno, con independencia de la dimensión social del aprendizaje.

Otro aspecto que tampoco podemos olvidar es la diferencia en la forma en que «circula el conocimiento» entre los investigadores y entre los alumnos. La información, el lenguaje, la comunicación o la argumentación son factores fundamentales; entre otros motivos porque son las herramientas que comparten una determinada población, programa de investigación o paradigma para hacer posible la evolución y el avance de sus ideas. No creemos que sea preciso señalar que, en demasiados casos, existe una falta de preocupación en el profesorado por este tema.

Hay otras diferencias pero, en definitiva, pondrían de manifiesto que el conocimiento científico es una condición necesaria pero no suficiente como marco de referencia de la enseñanza de las ciencias. Es necesario tener en cuenta que dicen otras disciplinas sobre cómo se produce el aprendizaje, qué potencialidades podemos aprovechar de los estudiantes o qué condicionantes nos vamos a encontrar. Todo ello es objeto de análisis en otros capítulos de este libro.

No obstante, podemos resaltar algunas implicaciones del estudio sobre la naturaleza de las ciencias que debieran incidir en el aula:

- Las ciencias tienen un gran potencial formativo para los alumnos de educación secundaria –tanto en la ESO como en el bachillerato– pero sólo tiene sentido si se contemplan los tres tipos de contenidos: conceptos, procedimientos y actitudes.
- Si se toma como referente la naturaleza de la ciencia, los conocimientos han surgido para dar respuestas a los problemas y no al revés. Habría que estructurar los contenidos en torno a la resolución de situaciones problemáticas.
- Cualquier selección que se realice (o que se acepte) de contenidos en ciencias lleva implícita o explícitamente una carga ideológica y una forma de verla como actividad humana.
- Muchos de los conocimientos científicos no son intuitivos ni evidentes. Debemos plantear una serie de actividades específicas e intencionadas para que los estudiantes los aprendan (no sólo los conceptos sino también los procedimientos y las actitudes).
- Es difícil aprender algo a lo que no se le ve una utilidad. En estos niveles educativos, el contenido de ciencias que se desarrolle en el aula debe estar conectado con los hechos y fenómenos próximos al estudiante, como dijimos en el capítulo «El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas».
- Aprender ciencias no es sólo aprender conceptos. Es más, el aprendizaje conceptual depende de la estructura de las concepciones, de la forma de argumentar, de las estrategias de resolución de problemas, de la coherencia de

los razonamientos, de la utilidad para las interpretaciones, del alcance de las transferencias...

- Los estudiantes deben ser y sentirse los auténticos protagonistas de su aprendizaje como ocurre con los científicos; para ello, tienen que explicitar sus ideas, discutir las, cuestionarlas (si es necesario), ampliarlas, modificarlas, aplicarlas... Y, sobre todo, percibir que se usan en el aula.
- No todos nuestros alumnos tienen las mismas características ni conocimientos. Es necesaria una pluralidad metodológica para poder crear situaciones de aprendizaje que sean válidas para el mayor número de ellos.

En definitiva, la evolución histórica de las ciencias pone de manifiesto que no ha sido un proceso fácil, inmediato, sin altibajos o cómodo. Por ello, sería deseable pensar que la adquisición del aprendizaje científico no presenta dificultades. Pero también se puede apreciar que, desde diversos ámbitos de la investigación de la propia ciencia, es posible encontrar reflexiones interesantes para resolver algunas de nuestras incertidumbres profesionales.

Bibliografía comentada

- AA.VV. (1996): Monografía «Naturaleza e Historia de la Ciencia». *Alambique*, n. 8, pp. 8-106.
- Número monográfico en el que aparecen varios artículos sobre la naturaleza e historia de las ciencias y sus relaciones con la educación científica. Se aprecia el papel que puede jugar todo ello en la elección de los contenidos que deben ser objeto de enseñanza y aprendizaje. Hay una revisión bibliográfica interesante para profundizar en el tema.
- AA.VV. (2001): Monografía «Nuevos tiempos, nuevos contenidos». *Alambique*, n. 29, pp. 5-102.
- Número monográfico en el que se realizan aportaciones sobre qué ciencias se deberían enseñar ante las características, los problemas y las necesidades del ciudadano del siglo XXI. Temas como la interculturalidad, la crisis educativa, el papel de las ciencias en la sociedad, las nuevas posibilidades que plantean las TIC, etc. son abordados por los autores, que invitan a una reflexión, personal y colectiva, ante un escenario diferente.
- ALFONSECA, M. (1996): *1000 grandes científicos*. Madrid. Espasa.
- Diccionario sobre los grandes científicos que han sobresalido en todas las ramas de la historia de las ciencias: biología, química, física, geología, etc. Recoge una breve biografía de cada uno de ellos y resalta las aportaciones más importantes que han realizado. Se recoge una síntesis histórica muy interesante y una ordenación histórica de científicos por ámbitos de descubrimiento muy útil para localizar la información.
- ECHVERRÍA, J. (1999): *Introducción a la metodología de la ciencia*. Madrid. Cátedra.
- Presenta las principales propuestas realizadas por los filósofos de la ciencia a lo largo del siglo XX, desde las aportaciones del Círculo de Viena hasta nuestros

días. Según el autor, se han producido cambios muy significativos en este periodo, de modo que se están reformulando por completo los planteamientos para convertirlos en una filosofía de la actividad científica y no sólo una epistemología.

3

Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias

María Pilar Jiménez Aleixandre

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales
Universidad de Santiago de Compostela

La imagen que suele tener el alumnado y el público en general acerca de las ciencias experimentales está asociada, precisamente, a los *experimentos*. Aunque es cierto que una parte importante del trabajo científico consiste en planificar experimentos que puedan ayudar a resolver problemas, llevarlos a cabo y registrar los resultados, también hay que tener en cuenta el papel que juegan en él el *lenguaje* y la *comunicación*. Las clases y los laboratorios de ciencias escolares son también espacios de comunicación, donde se construyen significados (o discurso) por medio del lenguaje. En este capítulo se aborda:

- ¿Qué procesos comunicativos se dan en las clases de ciencias y por qué se *interrumpen*?
- Se tratan algunos aspectos de la comunicación en la enseñanza de las ciencias, qué procesos comunicativos se dan y cómo a veces se cortan; algunas diferencias entre el lenguaje dentro y fuera de clase.
- ¿Cómo se construyen significados a través de las explicaciones del profesorado? Se aborda el modelo propuesto por Ogborn y otros para las explicaciones, y la creación de diferencias como motor de la comunicación.
- ¿Cómo se transforma el discurso científico «experto» en discurso científico escolar? Se discuten algunos mecanismos de reformulación del discurso científico, cambios en el estatus, en el lenguaje, uso de metáforas y de imágenes.
- ¿Cómo promover el desarrollo de destrezas de comunicación y de razonamiento argumentativo? Se abordan las destrezas de argumentación, la capacidad de elegir entre distintas explicaciones teóricas y la relación entre datos y teorías.
- ¿Cómo favorecer la constitución de comunidades de pensamiento, que en clase se hable ciencias y se escriba ciencias?

Se aborda la construcción de significados compartidos y el diseño de ambientes de aprendizaje donde tenga lugar verdadera comunicación.