

3. LAS SECUENCIAS DIDÁCTICAS EN LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS: MODELOS PARA SU DISEÑO Y VALIDACIÓN

CONTENIDO DE CAPÍTULO

- ¿Qué es una secuencia de enseñanza y aprendizaje?
- Diseño de las SEA según dos tradiciones: enfoques epistemológico y didáctico
- La importancia de estructurar el contenido: el modelo de *reconstrucción educativa*
- La importancia de la interacción en el aula: el modelo de *demanda de aprendizaje*
- La importancia de modelizar: hacer operativa la relación entre fenómeno y modelo
- Conclusiones

Digna Couso

Universidad Autónoma de Barcelona

En la literatura, en didáctica de las Ciencias, tanto en el campo de la investigación como en el campo de la formación del profesorado o el de la enseñanza y el aprendizaje en el aula, existe un creciente interés por las secuencias didácticas como herramienta básica de planificación del proceso de enseñanza y aprendizaje. La complejidad de este proceso ha hecho que en las últimas dos décadas una parte importante de las publicaciones de este campo hagan referencia a las secuencias de enseñanza y aprendizaje (SEA) con objetivos diversos. Por ejemplo, se han propuesto diferentes marcos teóricos para la elaboración de estas secuencias y también para su evaluación, e incluso se ha discutido si la propia elaboración y evaluación de las SEA no es el objetivo fundamental de la didáctica de las Ciencias y su investigación. En este capítulo presentaremos los diversos enfoques que se discuten actualmente, los conceptos teóricos de la didáctica de las Ciencias en los que se basan y la conexión entre el diseño y evaluación de las SEA y la investigación en didáctica de las Ciencias.

¿Qué es una secuencia de enseñanza y aprendizaje?

Una unidad didáctica, secuencia didáctica o secuencia de enseñanza y aprendizaje es el documento de planificación de las situaciones de enseñanza y aprendizaje correspondientes a un tema o un contenido curricular concreto. En este sentido, una SEA incluye los materiales y los recursos que utiliza el profesor en el aula (por ejemplo, vídeos, simulaciones, prácticas de laboratorio, etc.), además de los documentos o fichas de trabajo para los alumnos (lecturas, cuestionarios, guiones de indagación, etc.), pero no es única ni principalmente esto. Una SEA es la planificación del proceso de enseñar y aprender y, por tanto, también incluye respuestas a las siguientes cuestiones: qué contenidos concretos, en qué contexto, con qué objetivos, en qué orden y de qué forma se llevan a cabo y evalúan cada una de las actividades que se realizan para enseñar y aprender la temática o los contenidos curriculares tratados. En definitiva, la SEA es la herramienta principal del profesor, ya que es la concreción de su trabajo en el aula (lo que enseña y cómo lo hace) influida por su visión del objetivo de este proceso (por qué y para qué lo hace).

Como herramienta básica de la planificación del proceso de enseñanza y aprendizaje, las SEA tienen un gran interés también para la investigación en didáctica de las Ciencias. Desde los años ochenta, la investigación educativa se ha fijado en este instrumento, caracterizándolo como dual (Méheut y Psillos, 2004), a la vez producto y objeto de investigación, en un continuo que va desde conceptualizar las SEA como innovación didáctica más o menos basada en resultados de investigación hasta considerar el diseño y la validación de estos instrumentos como un contexto privilegiado de investigación educativa (Baumgartner y otros, 2003) o como el contexto de investigación más relevante en una didáctica de las Ciencias orientada a cambiar los procesos de enseñanza y aprendizaje (Lijnse, 2000).

Este interés por las SEA desde el ámbito de la investigación en didáctica de las Ciencias ha llevado a diferentes grupos de investigadores de reconocido prestigio a proponer diversos marcos para elaborar las SEA basadas en resultados de investigación y validarlas a partir de evidencias empíricas, como son los marcos de la «reconstrucción educativa» o *educational reconstruction* en el ámbito alemán; la «demanda de aprendizaje» o *learning demand* en el inglés y las «hipótesis de aprendizaje» o *learning hypothesis*, en particular respecto a la modelización, en el francés, entre otros. En nuestro país, a pesar de la multitud de ejemplos de SEA elaborados e investigados,¹ no podemos hablar de un modelo destacado para

.....

1. En la literatura de didáctica de las Ciencias de España, existen multitud de propuestas de unidades didácticas de mucho interés que, a pesar de no estar publicadas y discutidas con la pretensión de constituir un modelo de cómo diseñar una SEA, pueden ser muy útiles al profesor a la hora de diseñar sus materiales. Son ejemplos los trabajos de Caamaño y Hueto (1992), Pro y Saura (2007) y Sánchez Blanco y Valcárel (1993) en la Universidad de Murcia; de Gil y otros (2005) en la Universitat de València; Jenaro Guisasaola y otros en la Universidad del País Vasco; María Pilar

el diseño de las SEA. Sí se han propuesto, sin embargo, guías relevantes para orientar el diseño, tanto de corte generalista (Sánchez Blanco y Valcárcel, 1993) como específicas de un programa (por ejemplo, de *investigación dirigida*; Gil, 1999), resultando especialmente interesante la organización de SEA en torno a la idea (basada en la propuesta de Karplus en los setenta y reelaborada por Jorba y Sanmartí) de secuenciación de las actividades de aula siguiendo un *ciclo de aprendizaje* (Jorba y Sanmartí, 1996; Sanmartí, 2002). Actualmente, dentro del enfoque de una enseñanza de las ciencias *competencial*, se ha estimulado de nuevo la discusión sobre cómo diseñar SEA, sobre todo con respecto a la contextualización de las mismas.

Diseño de las SEA según dos tradiciones: enfoques epistemológico y didáctico

En su revisión sobre la investigación en SEA, Méheut y Psillos (2004) clasifican las diferentes propuestas presentes en la literatura utilizando una extensión del triángulo didáctico de Brousseau, formado por profesor, alumnado y conocimiento científico, para incluir el mundo material sobre el que se quiere aprender y actuar. En las diagonales de este «rombo» didáctico, los autores sitúan dos dimensiones para el diseño de las SEA: la dimensión didáctica (de relación entre enseñanza y aprendizaje o entre profesores y alumnos) y la dimensión epistemológica (de relación entre el conocimiento científico o las versiones escolares del mismo y el mundo).

Las primeras SEA de didáctica de las Ciencias publicadas en el ámbito internacional son las pertenecientes a los proyectos curriculares de los años setenta, propuestos en el marco de la investigación sobre concepciones alternativas y razonamiento espontáneo de los alumnos. En el rombo de Méheut y Psillos, estas SEA se sitúan principalmente en el espacio «estudiantes-mundo material», ya que están fuertemente centradas en las ideas de los alumnos sobre el mundo y en cómo hacerlas entrar en conflicto (siguiendo la corriente de *cambio conceptual*), para desestabilizarlas y que puedan evolucionar hacia ideas más adecuadas científicamente. Aunque mucho menos comunes internacionalmente que las anteriores, en su revisión, Méheut y Psillos (2004) encuentran también (sobre todo en la tradición francesa) otro tipo de SEA diferentes a las anteriores, que se sitúan en el eje epistemológico entre la ciencia y el mundo

.....

Jiménez-Aleixandre y otros en la Universidad de Santiago de Compostela, etc. También son interesantes las unidades didácticas que forman parte de proyectos de ciencias para la educación secundaria obligatoria (ESO): «Química Faraday», «Axarquía», «Ciències 12-16», «GAIA», etc., y para el bachillerato: «Química Salters» y «Física Salters», entre otros. Referencias a estos trabajos y otros igualmente relevantes se encuentran publicadas, en su mayoría, en las revistas *Enseñanza de las Ciencias* y *Alambique* (Caamaño, 2006). Algunos de estos proyectos se presentan en los capítulos 2 («Unidades didácticas y proyectos de calidad en la enseñanza de la Física») y 3 («Unidades didácticas y proyectos de calidad en la enseñanza de la Química») del volumen *Física y Química. Investigación, innovación y buenas prácticas* (Caamaño, 2011).

material. En estas SEA es únicamente la reflexión sobre el conocimiento científico y su naturaleza (cómo es y cómo se genera el conocimiento científico) lo que dirige la propuesta de enseñanza y aprendizaje, dejando en un segundo plano los aspectos relacionados con el proceso de enseñar y aprender.

Los dos tipos de SEA descritas por Méheut y Psillos constituyen dos extremos entre lo psicológico y cognitivo (centrado en el aprendiz y su relación con el mundo) y lo disciplinar y epistemológico (centrado en la ciencia y su relación con el mundo). Muchos autores han criticado esta dicotomía, porque el diseño de las SEA adolece de la pobreza de situarse únicamente en uno de estos marcos. La mayoría de las SEA que se discuten actualmente, sin embargo, utilizan un enfoque dual entre ambos extremos, lo que evidencia la importancia de interrelacionarlos para constituir un instrumento eficiente a la hora de cumplir la compleja tarea de diseñar situaciones de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

A continuación, discutimos tres ejemplos muy conocidos de propuestas y tradiciones europeas para el diseño de las SEA que enlazan ambas dimensiones, didáctica y epistemológica, de forma diferenciada. Para cada uno de estos modelos, enfatizaremos el constructo teórico o el instrumento de diseño más significativos que nos aportan.

La importancia de estructurar el contenido: el modelo de *reconstrucción educativa*

El modelo de *reconstrucción educativa* de la tradición *didaktik* alemana (Duit y otros, 2005) es un modelo para diseñar SEA basadas en investigación donde el aspecto que guía del diseño es la problematización del contenido de instrucción (el contenido a enseñar y aprender). Para los autores, la estructura del contenido a enseñar es mucho más compleja que la del contenido científico, ya que ha tener en cuenta no sólo la disciplina, sino también las necesidades de los aprendices. Por tanto, es necesario:

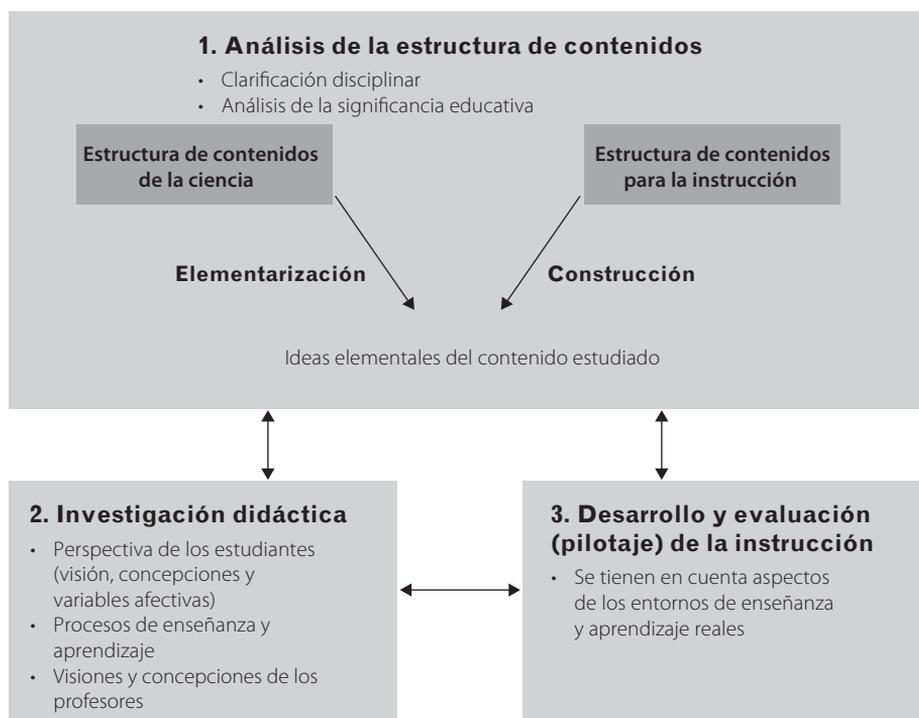
(...) integrar el conocimiento científico abstracto en contextos que tengan en cuenta las potencialidades y dificultades para aprender de los aprendices. (Duit, 2007)

En el modelo de reconstrucción educativa se combinan tres *líneas de investigación*: la clarificación conceptual del contenido de ciencias que enseñar, los resultados de la investigación sobre las concepciones de los alumnos, y la enseñanza y el aprendizaje de estos contenidos y los resultados empíricos sobre los entornos de aprendizaje propuestos. En este sentido, se trata de un enfoque que aúna una visión del aprendizaje constructivista con un trabajo profundo de caracterización del contenido (véase el cuadro 1, en página siguiente).

Esta caracterización del contenido se realiza en dos pasos. Por un lado, se efectúa la *elementarización*, que implica desgranar cuáles son las ideas centrales o elementales del

contenido concreto que enseñar, teniendo en cuenta no sólo la lógica de la disciplina (de la ciencia), sino también su significancia educativa desde el punto de vista de la *ciencia para todos* (Fensham, 1985). En este sentido, en la elementarización el análisis de los contenidos incluye la caracterización de los contextos relevantes de aplicación del contenido, sus implicaciones sociales y éticas, su relación con otros contenidos que han de ser enseñados, su ejemplaridad como contenido y, en resumen, su relevancia para los estudiantes y la sociedad. La estructura de ideas centrales o elementales resultado de este proceso da lugar a la *construcción* de la estructura de contenidos para la instrucción (contenidos para ser enseñados y aprendidos). Tanto en la elementarización de la estructura de contenidos de la ciencia como en la construcción de la estructura de contenidos para la instrucción se tiene en cuenta la perspectiva de los estudiantes (sus concepciones e intereses) y los resultados empíricos de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Es decir, para determinar el contenido de la instrucción se tienen en cuenta la variedad de ideas y caminos de aprendizaje de los estudiantes.

Cuadro 1. Modelo de reconstrucción educativa de Duit y otros



En el modelo de las SEA que proponen los autores, la validación se realiza de forma empírica, en los pilotajes y las sucesivas iteraciones de la secuencia en el aula, de manera que el análisis educativo y de contenido realizado se va modificando de acuerdo con los resultados concretos de los estudiantes, sus concepciones y caminos de aprendizaje.

Ahondando en la reconstrucción educativa: qué enseñar hoy

Del modelo de reconstrucción educativa interesa rescatar la idea de la importancia de seleccionar y transformar los contenidos, de acuerdo tanto con lo que pueden aprender los alumnos como con lo que es relevante desde el punto de vista de la ciencia y de una ciencia social.

Seleccionar los contenidos no es sólo una opción didáctica. Dependiendo del modelo educativo del país, el currículo oficial determina en mayor o menor grado qué enseñar. En nuestro caso, el currículo oficial determina el primer grado de concreción de los contenidos y, en este sentido, resulta tan sólo orientativo a la hora de definir los contenidos concretos de una SEA. Por tanto, recae en el segundo y sobre todo el tercer nivel de concreción curricular, el de la escuela y el profesorado respectivamente, la selección de contenidos concreta que se trabaja en el aula. En consecuencia, es sobre todo la visión de la disciplina (de las ciencias), y de la enseñanza y el aprendizaje de esta disciplina por parte del profesor o equipo diseñador de la SEA, lo que más influencia la selección de contenidos de la misma.

No es el objetivo de este capítulo hacer una reflexión profunda sobre qué enseñar en ciencias, ya que este tipo de disquisición va más allá de lo necesario en el diseño y la evaluación de las SEA y existe abundante literatura al respecto (Izquierdo-Aymerich, 2005). Sí es necesario, sin embargo, poner de manifiesto que la elección de los contenidos de una SEA es parte esencial de la misma y no algo dado a priori: los contenidos, e incluso la propia definición de qué constituye contenido, dependen de nuestra visión de la disciplina y de los objetivos que perseguimos con su enseñanza.

En primera instancia, enseñar ciencias implica acercar o entrelazar el conocimiento que construyen los estudiantes en el aula de ciencias al conocimiento científico, es decir, al conocimiento consensuado y compartido por la comunidad científica, representado en la variedad de lenguajes que esta comunidad domina e incluido en los constructos teóricos y metodológicos que utiliza. Este acercamiento no implica simplemente seleccionar algunos conceptos esenciales o reducir la complejidad del conocimiento científico para llevarlo al aula, sino que se habla de *reelaborarlo*, *reconstruirlo*, como dice Duit, o, en palabras de Chevallard, *transponerlo didácticamente* de forma que deje de ser lo que es para convertirse en algo ontológica y epistemológicamente nuevo (Chevallard, 1991). En este sentido, el

conocimiento objeto de enseñanza y aprendizaje en el aula de ciencias no es el conocimiento científico, sino el *conocimiento científico escolar* o la *ciencia escolar* (Izquierdo-Aymerich y otros, 1999), que «no está en el libro o en la lección, sino en lo que el libro o la lección permiten pensar, hacer y comunicar» (Izquierdo-Aymerich, 2005, p. 113). En consecuencia, diseñar los contenidos de esta *ciencia escolar* implica tener en cuenta la función educativa de los conocimientos de «estructurar la mente y desarrollar la conciencia», la utilidad de estos conocimientos para «razonar en un mundo en evolución en el cual se puede intervenir» y la necesidad de estos conocimientos de «relacionarse entre sí porque contribuyen a desarrollar un proyecto humano de intervención en el mundo» (Izquierdo-Aymerich 2007, p. 133).

Además, la *ciencia escolar* debe tener en cuenta que los contenidos sean relevantes para los alumnos de hoy. Los «nuevos tiempos» (y en particular el cambio de milenio) han propiciado una reflexión importante sobre los contenidos (Pro y Saura, 2001, en Física, y Caamaño, 2001, en Química). Esta reflexión sobre los contenidos viene del enorme cambio que ha significado plantearse una enseñanza de la *ciencia para todos* (Fensham, 1985) que persiga el objetivo de la *alfabetización científica* (Millar y Osborne, 1998) y, más recientemente, la *competencia científica de la ciudadanía* (Fensham, 2007). En este contexto de resituación de los contenidos disciplinares, se redefinen los movimientos Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), aparecen nuevas asignaturas de Ciencias como Cultura pública (*Public Understanding of Science* –actualmente, *Science in Society*– en Inglaterra y Ciencia para el mundo contemporáneo en España) y se introducen las controversias sociocientíficas en los currículos de Ciencias. En este sentido, los contenidos de ciencia escolar no sólo son diferentes de los de las disciplinas de origen para poder ser aprendidos por el alumno, sino también para ser adecuados para el mundo en el que le toca vivir y actuar.

La importancia de la interacción en el aula: el modelo de *demanda de aprendizaje*

En el marco de la reconstrucción educativa se da mucha importancia a una reconstrucción del contenido que enseñar que conecte los contenidos científicos con los marcos de interpretación alternativos de los alumnos y, en ese sentido, está basado en ideas constructivistas del aprendizaje. Sin embargo, se trata de un constructivismo que destaca el componente individual del aprendizaje (la construcción del conocimiento a nivel personal) y que enfatiza la secuencia concreta de actividades propuesta (el orden seguido que favorece que unos conceptos se construyan a partir de otros). Para Leach y Scott (2002), el problema de este y otros enfoques para el diseño de las SEA es que en ellos el papel del profesor y de la interacción social en el aula, aunque no se ignore, queda desdibujado. Es

decir, se pone un énfasis demasiado grande en clarificar y compartir aspectos conceptuales de la secuencia (el contenido transpuesto o educacionalmente reconstruido y su secuenciación) y demasiado poco en la puesta en escena de ese contenido en el aula, es decir, en las preguntas que conectan o estimulan el pensamiento de los alumnos y en cómo el profesor debe responder y guiar su discurso (Leach y Scott, 2002).

Detrás de esta crítica de los autores, se encuentra una forma de ver el fenómeno del aula de ciencias y el papel del profesor propia de la *visión socioconstructivista* del aprendizaje, basada en las ideas de Vigotsky y seguidores (Leach y Scott, 2003). Para Vigotsky, el pensamiento en el individuo deriva de su vida social. Las ideas expuestas mediante el lenguaje y otros instrumentos en el plano social de una cultura concreta son interiorizadas en el plano individual. En consecuencia, se aprende interaccionando con otros mediante el lenguaje o el discurso.

En el caso del aprendizaje de las ciencias, los alumnos han aprendido de forma espontánea y a través de las interacciones normales del día a día multitud de concepciones relacionadas con conceptos científicos (*concepciones espontáneas*). Sin embargo, si queremos que aprendan los conceptos científicos propios de la cultura científica escolar, los alumnos necesitan interacción social con miembros de esa nueva cultura (por ejemplo, profesores) para adquirir el discurso y las formas de pensar, de conocer y de hacer de esa cultura. En el modelo de Leach y Scott, por tanto, una SEA es la planificación de la situación en la que el profesor asiste a los estudiantes en esa enculturación en la ciencia escolar, es decir, les ayuda a aprender y compartir el lenguaje y las prácticas de la comunidad científica escolar. De ahí la importancia que desde la visión socioconstructivista del aprendizaje se da al *hablar y hacer ciencias para aprender* (Lemke, 1997; Sanmartí y otros, 1999).

En el modelo de las SEA propuesto por Leach y Scott (2002), de acuerdo con las ideas anteriores, tres aspectos son fundamentales. El primero implica planificar que el punto de vista de la ciencia aflore en el plano social del aula, es decir, que el profesor ponga a disposición de los alumnos «historias» sobre los fenómenos del mundo pensadas y habladas según la cultura científica escolar. Siguiendo la propuesta narrativa de Ogborn y otros (1998), estas «historias» de la ciencia escolar tienen ciertos protagonistas que realizan una serie de actos, siguiendo unos propósitos o dando lugar a unas consecuencias. Por tanto, se trata de compartir con los alumnos la forma de mirar, los conceptos y las convenciones propios del lenguaje social de la ciencia escolar para explicar y actuar, de forma plausible y útil, sobre los fenómenos conocidos (por ejemplo, que el azúcar «desaparece» en la leche caliente o que se nos enfría la taza al cabo de un rato) desde el punto de vista de la ciencia escolar. Para los autores, esta floración de la «historia» científica escolar es un proceso altamente *interactivo* (entre profesor y alumnos y entre los alumnos mismos) y *multimodal* (involucra varios tipos de lenguajes: discurso oral, texto, imagen, gesto, etc.).

El segundo aspecto importante de una SEA en el modelo de Leach y Scott es la planificación del apoyo a los alumnos en el proceso de *internalización* (siguiendo a Vigotsky). Es decir, conseguir que los alumnos se apropien de las historias científicas escolares mencionadas y las hagan suyas. Aquí, de nuevo, el papel del profesor es crucial, no ya tanto como miembro de una cultura que «conoce» unas historias, sino como experto en la monitorización y la regulación del aprendizaje del alumno. Es decir, como experto en guiar al alumno en el recorrido «desde donde está» (lo que sabe) a «donde puede llegar a estar» (lo que puede llegar a saber)² de ciencia escolar. Este proceso de soporte a la internalización lo relacionamos con la idea de *evaluación reguladora* (Jorba y Sanmartí, 1996; Perrenoud, 1998; Sanmartí, 2006). En el modelo de las SEA propuesto, Leach y Scott enfatizan la importancia de planificar estas situaciones de regulación, es decir, planificar cuándo y cómo poner en común y cuándo y cómo dar *feedback* o regular la visión del alumno³ para facilitar el aprendizaje.

Por último, el tercer aspecto que destacan los autores es la planificación en la SEA de oportunidades de *aplicación* de lo aprendido por parte de los estudiantes, es decir, hacer de las nuevas «historias» sus propias ideas. Para los autores, esto implica un traspaso de responsabilidad del proceso de enseñanza y aprendizaje de profesores a alumnos.

Planificar que la «historia» científica aflore, se comparta y se internalice (aprenda) en el aula de ciencias requiere planificar las situaciones discursivas que promueven este proceso teniendo en cuenta la distancia que existe entre las «historias» de los alumnos y la científica. En este sentido, el modelo de las SEA de Leach y Scott se basa en el concepto de *demanda de aprendizaje*: la diferencia entre el lenguaje social cotidiano (y la forma de pensar y actuar sobre los fenómenos) de los alumnos y el lenguaje social de la ciencia escolar. Hacer operativo el concepto de *demanda de aprendizaje* para que sirva para diseñar las SEA implica identificar las demandas de aprendizaje comunes en los alumnos,⁴ es decir, «los retos intelectuales a los que se enfrentan los aprendices respecto a un aspecto particular de la ciencia escolar» (Leach y Scott, 2002, p. 126). Para los autores, éstos son diferencias en el tipo de herramientas conceptuales usadas (conceptos) y en la epistemología (cómo

.....
2. Vigotsky hace referencia a la *zona de desarrollo próximo* como esa zona del conocimiento de los alumnos que éstos pueden recorrer con la ayuda o la guía del profesor.

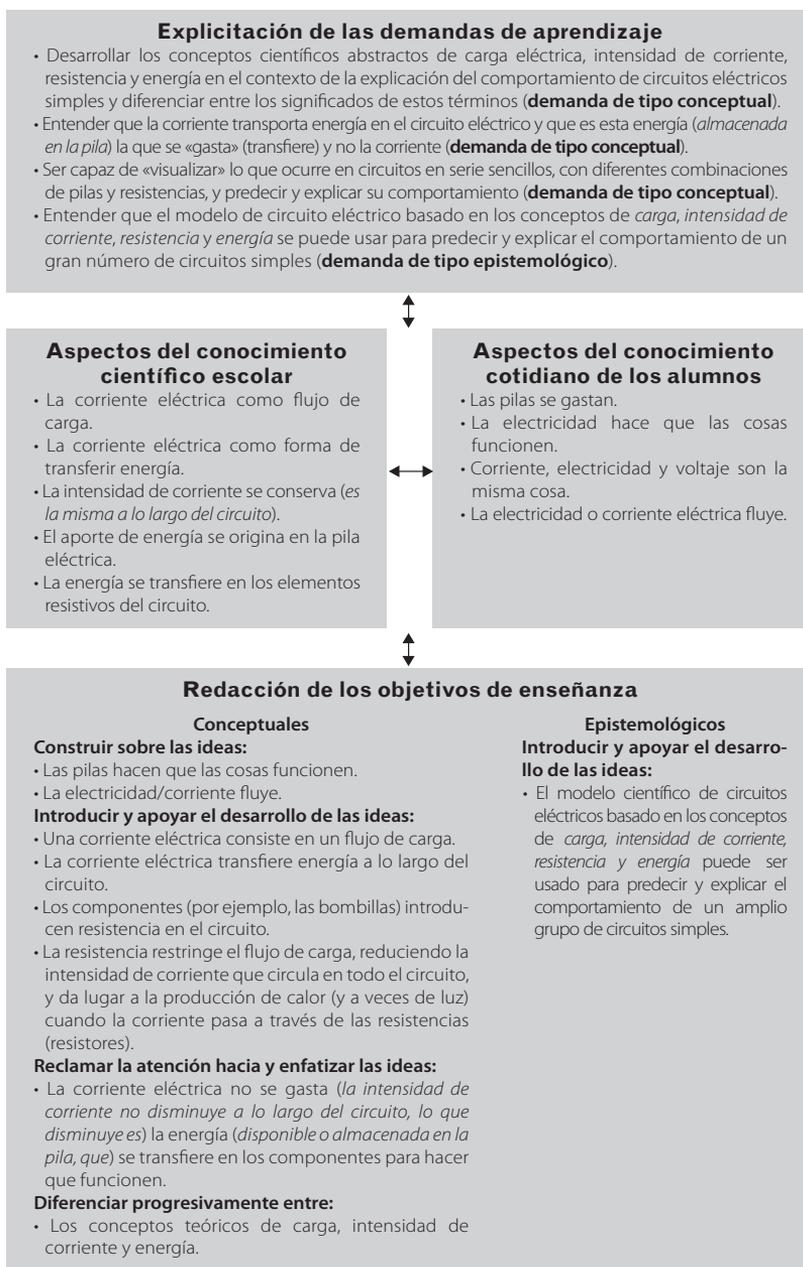
3. Aunque los autores no lo mencionan, consideramos que las ideas de Perrenoud y Sanmartí de promover la autorregulación de los alumnos (mediante un trabajo de enseñanza de estrategias metacognitivas, y de autoevaluación y coevaluación) resultan imprescindibles para que la guía de la internalización o el aprendizaje sea plausible y efectiva dentro, y más adelante también fuera, del aula.

4. Los retos intelectuales a los que se enfrentan los alumnos en el aula de ciencias no son característicos del individuo, sino generalmente compartidos, ya que los alumnos que viven la misma cultura cotidiana tienen visiones espontáneas de los fenómenos muy similares.

se generan o validan) y la ontología (naturaleza) de esas herramientas conceptuales. Por ejemplo, entre la «historia» científica escolar y la «historia» cotidiana de la caída de un objeto hay diferencias en los conceptos usados (caída por «su propio peso» contra caída por la interacción/fuerza gravitatoria); en su epistemología (caída como fenómeno natural específico sin necesidad de causa contra búsqueda de una causa de tipo universal para la caída y otros fenómenos análogos); y en la ontología (peso como tendencia del objeto a caer contra peso como interacción gravitatoria que depende de la masa gravitatoria del objeto y del campo gravitatorio donde se encuentre).

De acuerdo con todo lo anterior, el diseño de las SEA en este modelo se realiza teniendo en cuenta cuatro aspectos de forma interrelacionada. Primero, seleccionar el conocimiento científico o construir la «historia» científica que enseñar, en función de sus protagonistas (qué conceptos o modelos científicos), su nivel de complejidad y la secuencia en el que aparecen. El segundo paso implica *caracterizar el razonamiento espontáneo* de los alumnos con respecto al tema tratado, basándonos en el enorme cuerpo de resultados de investigación al respecto (Driver y otros, 1994). El paso siguiente es identificar la *demanda de aprendizaje* valorando las diferencias conceptuales, epistemológicas y ontológicas entre lo que piensan los alumnos y la «historia» científica escolar en el ámbito tratado. Por último, el diseño de las SEA implica elegir la *estrategia de enseñanza* (que los autores desvinculan del concepto de *demanda de aprendizaje*, ya que diferentes estrategias pueden dirigirse a cubrir la misma demanda) con la que construir las actividades y las situaciones de enseñanza y aprendizaje. Para ello, los autores se refieren a la definición de objetivos de enseñanza de cada fase de la secuencia. En estos objetivos de enseñanza se hacen explícitas las formas en las que las ideas de los estudiantes se aprovechan y se hacen evolucionar mediante la intervención y la guía del profesor. En el cuadro 2 (en página siguiente) mostramos un ejemplo de este análisis de demanda de aprendizaje realizado por los autores con respecto al tema de los circuitos simples.

Cuadro 2. Ejemplo de utilización del concepto de *demanda de aprendizaje* para el diseño de una SEA sobre electricidad en circuitos simples (aclaraciones, en cursiva)



Fuente: adaptado de Leach y Scott (2002).

Ahondando en la necesidad de planificar la interacción en el aula

El análisis de la demanda de aprendizaje del cuadro 2 (en página anterior) no es suficiente para caracterizar el tipo de situación de enseñanza y aprendizaje que proponen Leach y Scott, en el que se destaca el papel del profesor y su «habilidad para guiar el discurso del aula a medida que las ideas se exploran y las explicaciones se introducen» (Leach y Scott, 2003, p. 104). Por ejemplo, no se especifica cómo aprovechar las ideas de los estudiantes y cómo hacerlas evolucionar en el aula. Esto ha llevado a los autores y los colegas a poner énfasis en este aspecto, es decir, en cómo los profesores orquestan la interacción y el discurso de la clase para que se desarrolle la «historia» científica objeto de enseñanza. Para ello, los autores desarrollaron un marco de análisis (para la investigación educativa) que ellos y otros han adaptado y utilizado también para la planificación del discurso docente. Este marco incluye, además de la especificación de los objetivos de enseñanza y los contenidos de la lección antes mencionados, la caracterización de la aproximación comunicativa, los patrones discursivos y las intervenciones docentes (Mortimer y Scott, 2003). Estos constructos resultan útiles para planificar (y reflexionar sobre) la interacción en el aula de ciencias y su relación con el aprendizaje (véase el capítulo 5, «La enseñanza dialógica en la construcción del conocimiento físico y químico», de Ametller, en este libro).

El cuadro 3 muestra un ejemplo de la información que incluyen los autores en sus SEA para que los profesores sepan el tipo de discurso de aula más adecuado para cada actividad (Hind y otros, 2001). Otros autores han trabajado también en la caracterización de aspectos del discurso docente y su importancia en la guía del proceso de aprendizaje de los alumnos. Por ejemplo, son muy interesantes los trabajos sobre el tipo de preguntas que son «buenas preguntas» en el aula de ciencias (Roca, 2008) y sobre cómo facilitar y evaluar el discurso argumentativo en el aula de ciencias (Duschl y Osborne, 2002), entre otros.

Cuadro 3. Ejemplo de utilización de la planificación del discurso docente y la interacción en el aula para una SEA sobre electricidad en circuitos simples

	EL OBJETIVO DEL DISCURSO DOCENTE	CÓMO Y CUÁNDO PASA
Presentar	Estás introduciendo o revisando nuevas ideas relacionadas con la analogía y con el modelo científico.	En una presentación por tu parte o una discusión en grupo-clase dirigida por ti.
Sondear	Estás averiguando las ideas de los estudiantes relacionadas con la analogía y con el modelo científico.	Utilizando preguntas abiertas como «¿Qué piensas?» en situaciones de grupo-clase o pequeño grupo.
Ayudar	Estás ayudando a los alumnos mientras hablan de sus ideas en desarrollo, utilizando preguntas clave y ofreciendo respuestas adecuadas a sus preguntas.	Mientras los alumnos están trabajando en parejas o pequeño grupo.

Fuente: traducido por Hind y otros (2001).

La importancia de modelizar: hacer operativa la relación entre fenómeno y modelo

Un tercer modelo de diseño de las SEA tiene su origen en la tradición didáctica francesa de ingeniería didáctica (Artigue, 1992), en la que el diseño se ve como un proceso complejo a diferentes niveles: el *nivel macro* (que garantiza la coherencia de toda la secuencia de enseñanza y aprendizaje) y el *nivel micro* (de cada sesión). Las decisiones de diseño que se toman para ambos niveles dependen del marco teórico utilizado y se concretan, según Buty, Tiberghien y Le Marechal (2004), en un conjunto de hipótesis sobre el conocimiento, la modelización, el aprendizaje y la didáctica. Estas hipótesis imponen restricciones a la tarea de diseño, a la vez que la guían (Buty, Tiberghien y Le Marechal, 2004). De todas las hipótesis que los autores mencionan, las que les diferencian en mayor grado del resto de marcos de diseño de las SEA presentados son las que hacen referencia a la modelización.

Para Buty, Tiberghien y Le Marechal, la modelización es el eje central de su propuesta para el diseño de las SEA, combinando aspectos epistemológicos obvios con importantes hipótesis de aprendizaje:

Para nosotros, los procesos de modelización son centrales en la física y la química. El significado de los conceptos físicos y químicos para los niveles de primaria, secundaria o los primeros años de la universidad requiere ligar, por un lado, el conocimiento directo y la percepción del mundo material y, por el otro, las teorías; una de las mayores dificultades para los alumnos es establecer estos enlaces. (Buty, Tiberghien y Le Marechal, 2004, p. 583)

Para los autores, esta visión de modelización implica restricciones sustanciales para la SEA, que debe focalizarse en guiar a los alumnos en esta distinción entre la descripción directa del mundo material y el mundo teórico de la ciencia. Esta distinción no es trivial, puesto que en la descripción directa del mundo material los alumnos ya usan sus propias *teorías de sentido común*. En este sentido, los autores consideran que es importante hacer explícito el estatus del modelo teórico en la SEA para que los estudiantes lo puedan confrontar con sus propias ideas teóricas.

Esta visión de modelización impone restricciones al diseño de las SEA en los niveles macro y micro antes mencionados. A nivel macro, el modelo o la teoría que hay que enseñar, debe formularse de forma coherente con las situaciones materiales y el conjunto de experimentos que se estudien en la SEA. A nivel micro, el diseñador debe tener en cuenta hasta qué punto los estudiantes pueden llevar a cabo las tareas planteadas (actividades de aula), considerando su conocimiento inicial y el conocimiento disponible en el aula. En este sentido, la visión de aprendizaje de los autores coincide con la visión socioconstructivista del aprendizaje antes mencionada y utiliza, en particular, la idea de *zona de desarrollo próximo* (ZDP, Vigotsky, 1978). En consecuencia, para cada actividad de enseñanza y

aprendizaje se plantea si el conocimiento que debe ser enseñado y aprendido está en la ZDP de los alumnos, es decir, en la zona de conocimiento a la que el alumno puede llegar desde su conocimiento inicial con las ayudas planificadas (ayuda del profesor, interacción con los compañeros, utilización de los instrumentos, etc.).

Esta planificación de la «distancia» cognitiva que debe ser recorrida por el alumno recuerda el concepto de *demanda de aprendizaje* del que hemos hablado. También «resuena» con la propuesta de Leach y Scott sobre la importancia que el equipo de Tiberghien da a la mediación, mediante el lenguaje y la interacción entre estudiantes, y entre estudiantes, y profesores (no enfatizada aquí). Por otro lado, implica que es muy importante conocer en detalle el conocimiento inicial de los alumnos y tenerlo en cuenta en la secuenciación de actividades y la formulación del modelo, de forma análoga a como se proponía en la *reconstrucción educativa*.

Para analizar el contenido de una secuencia concreta haciendo explícito el estatus del modelo teórico (que es la idea central de la propuesta de los autores), Buty, Tiberghien y Le Marechal sugieren utilizar una tabla en la que se especifique el nivel de la teoría o el modelo, la relación entre la teoría y los objetos o los fenómenos, y el mundo de los objetos. A este instrumento epistemológico, los autores le añaden las hipótesis de aprendizaje socioconstructivista con las que trabajan (básicamente, la idea de movilizar el conocimiento de los estudiantes dentro de su ZDP) y la realidad contextual en la que se desarrolla la situación de enseñanza y aprendizaje, y construyen lo que hemos denominado la *parrilla de modelización y aprendizaje*.⁵ Esta parrilla se puede aplicar a nivel macro, para orientar o analizar la coherencia global de una SEA, y también a nivel micro, para cada aspecto del modelo y actividad de la misma. El cuadro 4 (en página siguiente) muestra un ejemplo de parrilla de nivel micro para una actividad de formación de imagen con una lente convergente de una SEA sobre óptica para estudiantes de 16-17 años (Buty, Tiberghien y Le Marechal, 2004). El eje vertical indica la caracterización del trabajo en modelización (eje de las hipótesis epistemológicas) y el horizontal concreta la distancia entre el conocimiento inicial de los alumnos y el conocimiento que se quiere construir en el aula (eje de las hipótesis de aprendizaje).

Con respecto a la evaluación empírica de las SEA, el marco de la ingeniería didáctica es especialmente crítico con las validaciones realizadas comparando los resultados obtenidos por el grupo experimental con un grupo control. En este sentido, proponen realizar *validaciones internas* en las que se compara el análisis a priori (lo que se espera conseguir) con el análisis a posteriori (lo que, de hecho, se consigue).

.....
5. En su artículo, Buty, Tiberghien y Le Marechal se refieren a este instrumento simplemente como «la parrilla» (*the grid*). Para caracterizar un poco más el instrumento, teniendo en cuenta que combina las dimensiones de modelización y aprendizaje de los alumnos, utilizamos aquí la denominación parrilla de modelización y aprendizaje.

Cuadro 4. Ejemplo de parrilla de aprendizaje y modelización de nivel micro para una actividad de formación de imagen con una lente convergente de una SEA de óptica

	CONOCIMIENTOS PREVIOS DE ÓPTICA (SEGÚN CURRÍCULO)	CONOCIMIENTOS PREVIOS DE LA VIDA COTIDIANA	CONOCIMIENTOS QUE DEBEN SER CONSTRUIDOS (FÍSICA)
Teoría/modelo	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de rayo de luz. • Estructura del ojo. • División de un objeto en puntos. • Difusión. 	<ul style="list-style-type: none"> • La concepción de propagación de imagen. • Imagen compleja: la imagen se parece a su objeto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Localización de una imagen óptica. • La imagen del objeto es el conjunto de puntos imagen.
Relación entre teoría/modelo y objetos/sucesos	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de visibilidad para un objeto. 		<ul style="list-style-type: none"> • La imagen se parece al objeto porque a cada punto del objeto le corresponde un único punto imagen.
Objetos/sucesos	<ul style="list-style-type: none"> • Seguir la trayectoria de la luz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia común con lentes. • Proyecciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento de enfocado.

Fuente: Buty, Tiberghien y Marechal (2004).

Ahondando en la enseñanza centrada en la modelización: ¿qué modelos?

A pesar del vivo debate sobre los contenidos del que hemos hablado, no hay una respuesta consensuada sobre qué ciencia enseñar hoy en día. Sin embargo, teniendo en cuenta que cada vez existen más contenidos potenciales para ser enseñados (la ciencia y la tecnología avanzan) y que el tiempo de enseñanza es limitado, cada vez cobran más sentido las propuestas didácticas centradas en tratar unos contenidos fundamentales o básicos de las disciplinas que sirvan para aprender lo más sustancial del pensamiento y de la actividad científica, es decir, aquellos conceptos y formas de pensar y actuar propios de la Física y la Química que son la esencia de esas disciplinas y que se pueden aplicar a problemáticas de relevancia personal, social o global. En su análisis sobre qué ciencia enseñar, Sanmartí (2002) destaca tres *tipos de contenidos* que tener en cuenta para la enseñanza de las ciencias: los saberes supradisciplinares, los modelos⁶ teóricos esenciales de la ciencia y los contenidos relacionados con el contexto de estudio. Nos referiremos a continuación brevemente a estos *modelos esenciales*, tanto de la ciencia como de la ciencia escolar, para el caso de la Física y la Química.

Los modelos esenciales que enseñar y aprender en el aula de ciencias son saberes relacionados con los modelos teóricos de cada disciplina científica, que para la autora deberían ser muy pocos, centrales, básicos y con la potencialidad de servir para predecir, interpretar,

6. En su libro, la autora se refiere indistintamente a modelos y conceptos-modelo.

comunicar y actuar con respecto a una multitud de fenómenos cotidianos. Estos modelos esenciales serían lo fundamental de la contribución cultural de la ciencia: «un conjunto de ideas principales sobre el mundo material y cómo se comporta» (Millar y Osborne, 1998, p. 2013). En su *propuesta para Química*, Sanmartí destaca el modelo de sustancia química, el modelo atómico-molecular y el modelo de cambio químico, mientras que para *Física* son las familias de modelos de la mecánica clásica (alrededor de la idea de *interacción*) y de la termodinámica (sobre el concepto de *energía*) los modelos que tratar en la ESO. Otros autores, a pesar de que también destacan la importancia de la modelización en la enseñanza de las ciencias y de la selección de algunos modelos, ponen énfasis no tanto en identificar y centrarse en las grandes familias de modelos esenciales como en sus submodelos. Por ejemplo, para Millar y Osborne, un modelo objeto de enseñanza es el modelo heliocéntrico del sistema solar o el modelo de interacción entre radiación y materia. Por otro lado, aunque la enseñanza a nivel macro se oriente a la construcción de un modelo esencial o submodelo, a nivel micro se centra en sus aspectos concretos, en progresión. Es el caso del ejemplo anterior de Buty, Tiberghien y Le Marechal, al modelizar un aspecto concreto del modelo de formación de imagen en óptica geométrica.

A pesar de la falta de consenso que existe entre los diversos autores sobre cuáles serían estos modelos o familias de modelos esenciales o centrales de las disciplinas que nos sirven para vertebrar los contenidos de la ciencia escolar, sí coinciden en la necesidad de abordar los modelos escogidos de forma holística, como narrativas o historias explicativas globales, de gran poder de aplicación. En este sentido, los autores destacan la importancia de que estas ideas centrales del currículo, cualesquiera que se tomen como centrales, no «se oscurezcan con el peso de los detalles» (Millar y Osborne, 1998, p. 2014) ni se atomicen esperando que, «una vez aprendido por separado, el estudiante podrá reconstruir el modelo experto» (Sanmartí, 2002, p. 87). En la enseñanza de las ciencias centrada en modelos o submodelos esenciales, por tanto, la competencia no reside en conocer todo el vocabulario específico o la casuística de excepciones de un tema, sino en dominar las ideas fundamentales y ser capaz de relacionarlas entre sí y aplicarlas para actuar.

La temática de la enseñanza y el aprendizaje de los modelos y de la modelización es tan importante en didáctica de las Ciencias que existe una muy abundante literatura al respecto, que trata temas tan diversos como el concepto de modelo útil para la didáctica de las Ciencias, las tipologías de modelos a las que se hace referencia, su estructura, etc. Para el diseño de las SEA, sin embargo, nos hemos centrado tan sólo en reflexionar sobre el hecho de que los contenidos no pueden ser conjuntos de conceptos aislados, sino *constructos explicativos* que se pueden aplicar a variedad de fenómenos, y que, si para la ciencia resulta fundamental la modelización como proceso de creación de conocimiento científico y los modelos como resultado de ese proceso, también debe serlo para el aprendizaje en el aula de ciencias (Gilbert y Boulter, 2000). Este tema se trata con extensión en el capítulo siguiente, de Rosaría Justí.

Conclusiones

En los apartados anteriores hemos presentado una variedad de propuestas para el diseño (y, en algunos casos, también evaluación) de SEA basadas en resultados de investigación. Nuestro ánimo en esta presentación no ha sido el describirlas exhaustivamente ni abogar por ninguna de ellas en particular, sino enfatizar de cada una aquellos aspectos que consideramos más relevantes y que, en consecuencia, valdría la pena tener en cuenta a la hora de diseñar una SEA para la enseñanza de un tema concreto de Física y Química. Estos aspectos son, todos ellos, temáticas centrales para el campo de la didáctica: la reconstrucción de los contenidos, la interacción en el aula, la modelización, etc. Aunque cada una de las propuestas presentadas están basadas en visiones un poco diferentes de la ciencia, la didáctica, la investigación didáctica y, sobre todo, de la enseñanza y el aprendizaje, creemos que todas ellas aportan reflexiones y constructos interesantes y de actualidad para la tarea de diseñar SEA para la enseñanza de las ciencias.

Por otro lado, no consideramos que ninguna de estas propuestas constituya en sí misma un modelo completo para ser utilizado en cualquier situación de diseño educativo y preferimos una aproximación más ecléctica. Por ejemplo, las unidades didácticas que diseñamos en nuestro grupo suelen iniciarse con un proceso de reconstrucción educativa del contenido (si éste es novedoso), en el que determinamos el modelo o los modelos objeto de aprendizaje y la situación problemática y motivadora en la que contextualizar la indagación. Luego, para diseñar la secuencia de actividades, nos resulta de gran utilidad guiarnos mediante un ciclo de aprendizaje, en el que cada actividad tiene un objetivo de enseñanza específico, de acuerdo con la demanda de aprendizaje de la SEA, siguiendo una progresión.⁷ Sin embargo, otras combinaciones o el uso de otros constructos nos parecen también interesantes. Creemos firmemente, en este sentido, que lo importante no es adherirse a un modelo concreto de diseño de las SEA, sino el hecho de reflexionar y tener conocimiento didáctico sobre qué enseñar y cómo hacerlo.

Por último, cabe destacar que todos los marcos mencionados hacen énfasis en el carácter dinámico del desarrollo de una SEA, presentando su elaboración como un proceso extendido en el tiempo en el que una sucesión de ciclos, más o menos explícitos, de implementación (piloto o no), evaluación y refinamiento son necesarios. En palabras de Méheut y Psillos, «diseñar una SEA no es una actividad que se haga 'de golpe', sino que es una tarea a largo plazo» (2004, p. 527). En este sentido, las propuestas anteriores cuentan con un buen bagaje teórico (basadas en constructos y resultados de investigación del corpus de la didáctica de las

7. Véase el apartado «Indagación y modelización sobre las propiedades acústicas de los materiales», del capítulo 2, «Unidades didácticas y proyectos de calidad en la enseñanza de la Física», del volumen *Física y Química. Investigación, innovación y buenas prácticas* (Caamaño, 2011).

Ciencias) y a su vez han sido probadas experimentalmente o han servido como contextos de investigación en el campo. Creemos que para los profesores noveles también puede resultar estimulante el enfrentarse al proceso de diseño de SEA (y de los materiales didácticos en general) con ese mismo espíritu investigativo, de prueba y mejora constante a partir de las evidencias y los resultados obtenidos en el aula.

ACTIVIDADES

En grupos de tres, iniciad la planificación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje de Física o Química para la ESO utilizando los conceptos y los instrumentos clave de los modelos de diseño de SEA analizados en el capítulo.

Actividad 1

Identificad, utilizando la idea de la reconstrucción educativa:

- *Las ideas elementales del contenido que tratar de acuerdo con la disciplina, es decir, lo importante desde el punto de vista científico o de la lógica disciplinar. Hay que tener en cuenta su ejemplaridad como contenido.*
 - *Las ideas elementales del contenido que tratar de acuerdo con su significancia educativa, es decir, lo importante desde el punto de vista de la ciencia para todos y la alfabetización científica. Hay que tener en cuenta la relevancia de los contenidos para los estudiantes y la sociedad.*
-

Actividad 2

A partir de estas ideas, seleccionad los contextos de enseñanza y aprendizaje para estos conceptos, que sean relevantes, y de ser posible problemáticos, con implicaciones sociales y éticas.

La explicitación de estas ideas depende del nivel educativo. Por ejemplo, en una SEA sobre el aire para primer ciclo de la ESO, las ideas elementales del contenido científico pueden ser las de un modelo de gas sencillo: que el gas está formado por partículas con volumen despreciable comparado con el volumen que ocupa el gas; que estas partículas tienen un movimiento al azar; que las partículas son independientes unas de otras; que chocan entre sí de forma elástica...

Por otro lado, hay que detallar la significatividad educativa de estas ideas; por ejemplo, especificar los aspectos de contaminación atmosférica, de calidad del aire, etc. que se quieran desarrollar en

el aula. Detallar estos aspectos debe hacerse en función del contexto educativo problemático y relevante escogido para presentar el tema; por ejemplo, el efecto en la contaminación atmosférica local de instalar una cementera en el pueblo contiguo o el análisis de la calidad del aire de los denominados edificios enfermos.

Actividad 3

Explicitad, utilizando la idea de demanda de aprendizaje y la plantilla del cuadro 2 (en p. 67):

- Los aspectos del conocimiento cotidiano de los alumnos respecto del contenido escogido.
- La demanda de aprendizaje concreta, es decir, la distancia entre los aspectos del contenido científico escolar tratado (identificado en el proceso de elementalización anterior) y los aspectos del conocimiento cotidiano del alumnado. Para ello:
 - Ordenad las demandas de aprendizaje siguiendo una progresión, de las que son menos problemáticas a las que lo son más para los alumnos (las que implican una «distancia» mayor entre las ideas de los estudiantes y las ideas de la ciencia escolar tratadas).
 - Includ también las demandas de aprendizaje de tipo epistemológico, es decir, las que se relacionan con cómo se generan, qué validez y utilidad tienen, etc. los contenidos conceptuales tratados.
- Los objetivos didácticos o de enseñanza, teniendo en cuenta qué objetivos son de tipo conceptual y qué objetivos son de tipo epistemológico. Para los objetivos conceptuales, especificad:
 - Sobre qué ideas los alumnos pueden empezar a construir.
 - Qué ideas es necesario introducir y desarrollar.
 - Qué ideas hay que enfatizar (porque resultan especialmente problemáticas).

Para identificar las problemáticas concretas de los alumnos respecto de los contenidos tratados es necesario conocer las concepciones alternativas que tienen al respecto. En este sentido, puede resultar útil consultar bibliografía especializada. En concreto, resulta muy recomendable la bibliografía exhaustiva y revisada hasta mayo del 2009 de Duit. Disponible on-line, previo registro, en:

- Bibliography-STCSE: www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse

En español puedes encontrar trabajos sobre ideas alternativas para contenidos concretos de la ciencia escolar en las revistas Enseñanza de las Ciencias y Alambique:

- Enseñanza de las Ciencias: ensciencias.uab.es
 - Alambique: alambique.grao.com
-

Actividad 4

Utilizad la parrilla de aprendizaje y modelización presentada, a nivel macro (de toda la SEA), para:

- Clasificar las ideas elementales del contenido o aspectos del conocimiento científico escolar (antes identificados) en conocimientos del mundo teórico que deben ser construidos (ideas personales, modelos mentales, etc.) o del mundo de los objetos o sucesos (experiencias comunes, fenómenos conocidos...).
- Clasificar los aspectos de los conocimientos cotidianos de los alumnos (antes identificados) en conocimientos del mundo teórico (ideas personales, modelos mentales, etc.) o del mundo de los objetos o los sucesos (experiencias comunes, fenómenos conocidos...).
- Explicitar los conocimientos, tanto del mundo de la teoría, de los objetos y los sucesos, como de la relación entre ambos, que debe conocer previamente el alumnado (que se han estudiado antes).

Para el ejemplo concreto de la SEA sobre el modelo de gas en el contexto de contaminación del aire por una cementera, una idea alternativa de tipo teórico por parte de los alumnos sería entender el aire como una sustancia continua e invisible que se mezcla con otra sustancia continua, la contaminación, de color gris. Una idea asociada del mundo de los objetos o los sucesos es la visión de las columnas de humo características de las fábricas, los tubos de escape y otros agentes contaminantes, mezclándose con el aire «limpio». Una actividad que puede servir para relacionar ambas e introducir la visión particular es la experiencia con filtros (del secador, del aspirador, del aire acondicionado, etc.), a través de los cuales pasa el aire (para introducir la idea de que está formado por partes pequeñas) y en los que quedan residuos visibles y discontinuos de contaminación (para introducir la idea de partículas contaminantes).

Actividad 5

Presentad a vuestros compañeros (grupo total) el trabajo realizado y discutid las dudas que vayan surgiendo, sobre todo en caso de utilizar esta planificación para diseñar una SEA real.

FUENTES Y RECURSOS

Elaboración de secuencias didácticas

Libros

AA.VV. (1995). *Ciencias de la Naturaleza*. vol. 4 Madrid: MEC/ Edelvives.

Colección de cuatro libros correspondientes a los cuatro cursos de la ESO, que proponen una serie de unidades didácticas secuenciadas para el currículo del área de Ciencias de naturaleza correspondiente a 1991. Las unidades siguen la siguiente estructura: actividades de iniciación, actividades de desarrollo, actividades de aplicación, actividades de ampliación y actividades de recuperación. Las unidades de Física y Química se encuentran en los volúmenes 1 («Propiedades de la materia»; «Naturaleza de la materia»; «La energía»; «La luz y el sonido»), 3 («Electricidad»; «Propiedades químicas de la materia») y 4 («Cinemática»; «Origen de las fuerzas y relación entre fuerza y movimiento»; «La energía»; «Astronomía»).

CAAMAÑO, A. y HUETO, A. (1992). *Orientaciones teórico-prácticas para la elaboración de Unidades Didácticas. Curso de actualización científica y didáctica. Ciencias de la Naturaleza*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia.

Este libro es una guía para el profesorado de ciencias implicado en procesos de formación para la elaboración de una unidad didáctica y su posterior experimentación y evaluación. La primera parte del libro contiene orientaciones teórico-prácticas, y la segunda parte está constituida por dos ejemplificaciones: «La vida de las plantas» y «Humedad y nubes», elaboradas por dos equipos de profesores.

CAAMAÑO, A. (coord.) (2011). *Física y Química. Investigación, innovación y nuevas prácticas*. Barcelona: Graó.

En los capítulos 2 y 3 de este libro se presentan varias unidades didácticas de Física y de Química de carácter innovador, recientemente elaboradas y experimentadas.

Guías para Enseñanzas Medias. Ciencias de la Naturaleza. Barcelona: Wolters Kluwer. Educación.

Inicialmente publicadas por la editorial Praxis. Es un proyecto curricular *on-line* que ofrece ejemplificaciones de unidades didácticas correspondientes a los cuatro cursos de la ESO, estructuradas del siguiente modo: actividades de exploración, actividades de introducción de conceptos y de modelización, actividades de reestructuración del conocimiento y actividades de aplicación. También disponible en: <www.guiasensenanzasmedias.es/indexESO.asp>.

SANMARTÍ, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis Educación.

Se trata de un libro de texto básico para el profesorado de ciencias en formación inicial y en ejercicio. Resulta muy recomendable la lectura del capítulo 8, «Organización y secuenciamiento».

ción de las actividades de enseñanza y aprendizaje», que es complementaria a la del artículo aquí presentado y profundiza en las tipologías de actividades y su secuenciación siguiendo un ciclo de aprendizaje.

Revistas

AA.VV. (2004). *International Journal of Science Education*, 26 (5), 51-652.

Número especial de la revista *International Journal of Science Education* sobre secuencias de enseñanza y aprendizaje. En él se detallan ejemplos de los modelos de diseño presentados, incluyendo otros que por falta de espacio no han podido describirse (como el modelo de estructuras didácticas de Piet Linjse y colaboradores), además de una reflexión de los editores Martine Méheut y Dimitris Psillos sobre la importancia de las SEA en la investigación en didáctica de las Ciencias.

AA.VV. (2005). Contextualizar la ciencia. *Alambique*, 46.

Monográfico de la revista *Alambique* que presenta una serie de secuencias didácticas para la ESO y proyectos curriculares en contexto para el bachillerato. Se presentan dos proyectos ingleses de ciencia en contexto: «Ciencia para el siglo XXI» (pp. 68-79), para estudiantes de 14 a 16 años, y la «Física Salters» (pp. 93-102), para estudiantes de bachillerato.

Sitios web

Ministerio de Educación. Recursos para el profesorado.

www.ite.educacion.es

Recursos oficiales para el profesorado, disponibles en la web del Instituto de Tecnologías Educativas. Pueden resultar especialmente útiles los recursos educativos disponibles en cada una de las Comunidades Autónomas a través de los diferentes portales educativos oficiales y centros de recursos pedagógicos, de enseñanza y aprendizaje o para el profesorado de ciencias. Consultado el día 04/05/2010.

Secuencias de enseñanza para la enseñanza de las Ciencias en la ESO. Programa de Formación para la Enseñanza de las Ciencias en la ESO (PFECE).

phobos.xtec.cat/cdec/index.php?option=com_content&view=article&id=90&Itemid=35

Conjunto de doce secuencias de enseñanza y sus correspondientes guías didácticas elaboradas en el marco del PFECE. Las de Física y Química son: «El moviment: construcció i interpretació de gràfiques»; «El camí de l'energia en els aliments»; «Electromagnetisme»; «La llum i el color»; «Química de l'atmosfera»; «Productes químics de la vida quotidiana: la química de la neteja»; «Productes químics de la vida quotidiana: la farmaciola».

La descripción general de las secuencias y del programa de formación para el que fueron diseñadas puede encontrarse en el artículo «Seqüències didàctiques com a mitjà d'innovació i millora de les classes de ciències a l'ESO en el marc d'un programa de formació del pro-

fessorat», que está disponible *on-line* en: phobos.xtec.cat/cdec/images/stories/WEB_antiga/formacio/pdf/sem_inno/sequencies.pdf.

Concepciones alternativas

En el diseño de secuencias didácticas es muy importante el conocimiento de las concepciones alternativas de los estudiantes respecto a los contenidos conceptuales que se van a abordar. Las referencias que se dan a continuación constituyen una buena fuente de información al respecto.

Libros

BARKE, H.D. y AL HAZARI, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry. Addressing Perceptions in Chemical Education*. Berlín: Springer.

Una excelente recopilación de las concepciones químicas de los estudiantes sobre las sustancias y sus propiedades, el carácter corpuscular de la materia, relaciones propiedades-estructura, equilibrio químico, reacciones ácido-base, reacciones redox, reacciones de complejos y energía.

FURIÓ, C., SOLBES, J. y CARRASCOSA, J. (2006). Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. Resultados y perspectivas. *Alambique*, 48, 64-76. Actualización del artículo publicado por C. Furió en 1996 en el monográfico «Viejos temas, nuevos enfoques».

TABER, K. (2002). *Chemical misconceptions-preventions, diagnosis and cure. Volume I: Theoretical background*. Londres: Royal Society of Chemistry.

Este libro es una excelente introducción a las concepciones alternativas de química y de cómo superar las dificultades conceptuales de los estudiantes.

TABER, K. (2002). *Chemical misconceptions-preventions, diagnosis and cure. Volume II: Classroom resources*. Londres: Royal Society of Chemistry.

Conjunto de actividades diseñadas para diagnosticar concepciones alternativas, prevenirlas y reconstruirlas. Diez de ellas pueden encontrarse traducidas al catalán en esta dirección: scqhistoric.iec.cat/continguts/2009/21debat/21debat.html.

VIENNOT, L. (1996). *Razonar en física. La contribución del sentido común*. Madrid: Aprendizaje. Antonio Machado Libros.

Este libro, apoyándose en los resultados de las investigaciones con estudiantes de todos los niveles, en relación a situaciones físicas variadas, establece tendencias del pensamiento natural en el aprendizaje de conceptos físicos de mecánica, ondas, circuitos eléctricos y termodinámica.

Revistas

AA.VV. (1996). Las ideas del alumnado en ciencia. *Alambique*, 7.

Monográfico de la revista *Alambique* que revisa los resultados sobre ideas alternativas del alumnado en las diferentes disciplinas científicas, incluidas la física y la química. Incluye dos artículos de carácter general: «Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación», de C. Furió, y «Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, a dónde van... y, mientras tanto, qué hacemos con ellas», de I. Pozo.

AA.VV. (2004). De las concepciones a los modelos en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 42.

Monográfico de la revista *Alambique* dedicado a la presentación de una serie de secuencias didácticas basadas en la construcción de diferentes modelos científicos escolares: cambio químico, concepto de *ión*, modelo de energía, nutrición de las plantas, modelo de evolución de Darwin y Wallace, etc.

Sitios web

DUIT, R. (hasta 2009). Bibliography-STCSE: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education.

www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/

Inicialmente, Helga Pfundt & Reinders Duit, *Bibliography – Students' Alternative Frameworks and Science Education*. Bibliografía compilada durante años (desde finales de los setenta y hasta marzo del 2009) por el investigador Reinders Duit y sus colaboradores sobre concepciones alternativas, en una primera etapa del alumnado y posteriormente también del profesorado. Tiene más de 8.400 entradas (en inglés). Consultado (04/05/2010).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTIGUE, M. (1992). Didactic Engineering. *Recherche en didactique des mathématiques*, 13 (3), 41-66.
- BAUMGARTNER, E., y otros (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 1 (32), 5-8.
- BUTY, C., TIBERGHIE, A. y LE MARECHAL, J.F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 579-604.
- CAAMAÑO, A. (2001). Repensar el currículo de química en los inicios del siglo XXI. *Alambique*, 29, 43-52.
- (2006). Proyectos de ciencias: entre la necesidad y el olvido. *Alambique*, 48, 10-24.
- (coord.) (2011). *Física y Química. Investigación, innovación y buenas prácticas*. Vol. III. Barcelona: Graó.
- CAAMAÑO, A. y HUETO, A. (1992). *Orientaciones teórico-prácticas para la elaboración de Unidades Didácticas. Curso de actualización científica y didáctica. Ciencias de la Naturaleza*. MEC.
- CHEVALLARD, Y. (1991). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Paris: La Pensée Sauvage.
- DRIVER, R., y otros (1994). *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*. Nueva York: Routledge. [Hay traducción en español: Dando sentido a la ciencia en secundaria. Investigaciones sobre las ideas de los niños, Aprendizaje Visor, 1999.]
- DUIT, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3 (1), 17-27.
- DUIT, R., y otros (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. En H. Fisher (ed.), *Developing standards in research on science education*. London: Taylor & Francis.
- DUSCHL, R. y OSBORNE, J. (2002). Supporting and Promoting Argumentation Discourse in Science Education. *Studies in Science Education*, 38, 39-72.
- FENSHAM, P.J. (1985). Science for all. *Journal of Curriculum Studies*, 17, 415-435.
- (2007). *Competences, from within and without: New challenges and possibilities for scientific literacy*. Promoting Scientific Literacy: Science Education Research in Transaction. Linnaeus Tercentenary Symposium, Uppsala (Suecia): Uppsala University.
- GIL, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.
- GIL, D., y otros (eds.) (2005). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*.

- Santiago de Chile: UNESCO/OREALC (Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible). También disponible en línea en: <www.oei.es/decada/139003S.pdf>.
- GILBERT, J. y BOULTER, C.J. (eds.) (2000). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academics Publishers.
- HIND, A., y otros (2001). *Teaching science for understanding: Electric circuits*. Consultado (04/05/2010) en: <www.education.leeds.ac.uk/research/cssme/ElecCircuitsScheme.pdf>.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (1), 111-122.
- (2007). Enseñar Ciencias, una nueva Ciencia. *Enseñanza de las ciencias sociales*, 6, 125-138.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M., y otros (1999). Caracterización y Fundamentación de la Ciencia Escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número especial, 79-92.
- JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuestas didácticas para las áreas de ciencias de la naturaleza y matemáticas*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deportes.
- LEACH, J. y SCOTT, P. (2002). Designing and Evaluating Science Teaching Sequences: An Approach Drawing upon the Concept of Learning Demand and a Social Constructivist Perspective on Learning. *Studies in Science Education*, 38 (1), 115-142.
- (2003). Individual and sociocultural views of learning in science education. *Science & Education*, 12, 91-113.
- LEMKE, J.L. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- LIJNSE, P. (2000). Didactics of science: The forgotten dimension in science education research? En R. Millar, J. Leach and J. Osborne (eds.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 308-326). Buckingham: Open University Press.
- MÉHEUT, M. y PSILLOS, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 515-535.
- MILLAR, R. y OSBORNE, J. (1998). *Beyond 2000: Science Education for the Future*. London: King's College.
- MORTIMER, E.F. y SCOTT, P.H. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. Buckingham: Open University Press.
- OGBORN, J., y otros (1998). *Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en Secundaria*. Madrid: Santillana/Aula XXI.
- PERRENOUD, P. (1998). From Formative Evaluation to a Controlled Regulation of Learning Processes. Towards a Wider Conceptual Field. *Assessment in Education*, 5 (1), 85-102.
- PRO, A. de y SAURA, O. (2001). Nuevos tiempos, nuevos contenidos en física. *Alambique*, 29, 53-62.
- (2007). La planificación: un proceso para la formación, la innovación y la investigación. *Alambique*, 52 (abril-junio), 39-55.
- ROCA, M. (2008). *Las preguntas en el proceso educativo, una reflexión necesaria en la formación del profesorado*. XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Almería: Universidad de Almería.

- SÁNCHEZ BLANCO, G. y VALCÁRCEL, M.V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales, *Enseñanza de las Ciencias*, 15, 1, 35-50.
- SANMARTÍ, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis Educación.
- (2006). *Evaluar para aprender*. Barcelona: Graó.
- SANMARTÍ, N., IZQUIERDO, M. y GARCÍA, M.P. (1999). Hablar y escribir: una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de pedagogía*, 281, 54-58.
- VIGOTSKY, L.S. (1978). *Mind and society: The development of higher psychological processes*. Cambridge (MA): Harvard University Press.