

Atando cabos entre contexto, competencias y modelización ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas?

Linking context, competencies and modeling. Is it possible to teach science to all people?

Mercè Izquierdo Aymerich
UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA
merce.izquierdo@uab.cat

Abstract

La recomendación de enseñar ciencias en contexto, mediante modelos, para adquirir competencias, se aplica a toda la enseñanza, sin diferenciar entre los niveles básicos y los no obligatorios. Pero la finalidad aprender ciencias en la etapa de enseñanza obligatoria (para qué y por qué) es muy diferente de la de la etapa no obligatoria, cuando los alumnos de ciencias han escogido esta materia entre otras. Por ello, para enseñar ciencias a todos se ha de diseñar el currículo del ciclo básico con mayor libertad, para que las ciencias escolares proporcionen recursos para comprender el funcionamiento del mundo en el que vivimos, poder hablar de él con un lenguaje científico que tenga en cuenta la intervención experimental en contexto y los valores que la regulan. Los aprendizajes deberán evaluarse de acuerdo con esta recomendación. En esta conferencia reflexionaremos sobre el diseño de un currículo competencial para la enseñanza de una ‘ciencia para todos’ que desarrolle actividad científica escolar genuina, en la que confluyen los Modelos Teóricos de las diferentes disciplinas científicas.

The recommendation to teach science in context, through Models, to acquire competences, applies to all teaching without differentiating between the basic and the non-compulsory levels. But the purpose of learning science in the stage of compulsory education (for what and why teach) is very different from that of the non-compulsory stage, when science students have chosen this subject among others. Therefore, to teach science to all, the curriculum of the basic cycle must be designed with more freedom, so that the school sciences provide resources to understand the functioning of the world in which we live, to be able to speak of it with a language (scientific) that has in account the experimental intervention in context and the values that regulate it. Learning should be evaluated according to this recommendation. In this lecture we will reflect on the design of a curriculum for the teaching of a ‘science for all’ that develops genuine scientific activity, in which the Theoretical Models of the different scientific disciplines converge.

Keywords: Curriculum, compulsory education, science in context, theoretical models, competences.
Palabras clave: Currículo, enseñanza obligatoria, contexto, modelos.

1. Aprender como resultado de una actividad científica que ha de ser escolar (ACE)

Los conocimientos actuales de las ciencias cognitivas han proporcionado nuevas luces a la didáctica de las ciencias (Echeverría, 1995) puesto que muestran que tanto hacer ciencia (por parte de los científicos) como aprender ciencias (por parte de los alumnos) son procesos de construcción conocimiento en los cuales confluyen la experimentación, el pensamiento teórico y el lenguaje. En ambos casos, la concordancia entre las finalidades que se persiguen y los valores que permiten evaluar los resultados les confieren la garantía de ser de un ejercicio de racionalidad humana. (Echeverría, 2002). Por ello, la investigación en didáctica de las ciencias dedica una atención notable al diseño de secuencias de enseñanza y aprendizaje (SEA) en las que se aboga por enseñar desarrollando actividad científica, es decir, en contexto (Besson, 2003), (Buty et al, 2004) según una estrategia de ‘modelización teórica’ para generar así, en clase, una actividad científica genuina (aunque sea escolar) que hace posible la competencia científica de los alumnos. (Sensévy et al, 2008).

Sin embargo, a medida que este programa docente e investigador se desarrolla (para comprender bien su significado) y se concreta la propuesta, va apareciendo una diferencia importante (¿radical quizás?) entre aplicarla para enseñar ciencias a todos (en la etapa escolar obligatoria) o hacerlo al enseñarlas en el bachillerato. En el primer caso, lo que se pretende es conocer cómo funciona el mundo material, global (en el cual viven las personas), a partir de lo que dicen sobre él todas las ciencias; en el segundo, se trata de introducir a los alumnos en alguna de las disciplinas científicas pero éstas, al especializarse en algún tipo de cambio (químico, físico, biológico, geológico...), proporcionan un conocimiento parcelado del mundo. (Cartwright, 1999).

El problema, al diseñar las ciencias que se enseñan en la etapa obligatoria es que no existe una única ciencia para explicar todos los fenómenos que se producen el mundo complejo en el cual vivimos. Por ello necesitamos que las diferentes disciplinas se coordinen entre sí para construir esta ciencia global que necesitamos en la escuela básica (Martinand, 1986). Y han de ser los fenómenos del mundo los que impulsen la conjunción de disciplinas y no sus conceptos teóricos, porque la finalidad de la ciencia escolar es, como hemos dicho, conocer el funcionamiento global del mundo material.

Los conocimientos de las disciplinas se construyeron laboriosamente a lo largo del tiempo. Ahora son un tesoro que se ha de transmitir también en la enseñanza básica, pero de manera inteligible, teniendo en cuenta qué explican y cómo lo hacen y cómo, en conjunto, muestran relaciones interesantes en el mundo material. (Astolfi, 2008).

¿Hasta qué punto podrá equipararse la actividad experimental en esta etapa básica a una actividad científica (disciplinar) que quizás es apropiada para los alumnos de bachillerato pero que la mayoría de los alumnos de esta etapa básica nunca van a llevar a cabo? ¿Es posible identificar algo, en la ciencia disciplinar, la de los científicos, que realmente contribuya a la educación de todas las personas y que forme parte de la ciencia para todos? Estas son las preguntas que nos preocupan desde hace mucho tiempo. (Izquierdo, M., et al., 1999). Lo que podemos dar por seguro es que la respuesta no consiste en conocer todas las disciplinas, con sus preguntas, conceptos, lenguajes y métodos experimentales propios (cosa imposible) sino en recrear algo de todas ellas para que los alumnos adquieran conocimientos científicos útiles y disfruten con ello.

Los contextos especializados en los que se lleva a cabo la actividad científica (AC) en los laboratorios científicos, las preguntas que la sostienen, las maneras de intervenir... son muy diferentes de los contextos cotidianos que generan conocimiento en la escuela básica. Sólo podremos

ser fieles al requisito de vincular la construcción de conocimiento a una actividad genuina si diseñamos la enseñanza básica de las ciencias a partir de los contextos escolares y no de los especializados y ayudamos a los alumnos a vivir la apasionante aventura de identificar fenómenos, intervenir en ellos y poder explicarlos. La actividad científica escolar (ACE) ha de ser diferente de la AC para poder conducir a los alumnos a adquirir una perspectiva científica que les permita comprender el significado práctico y teórico del lenguaje científico.

La actividad científica ‘para todos’ (ACE) ha de ser multidisciplinar (porque se refiere a un mundo global), razonable (porque propone modelos creíbles sobre los cambios materiales que se relacionan entre sí) y educativa (porque desarrolla competencias que ayudan a vivir). Como resultado de esta actividad los alumnos van a ir más allá de su quehacer cotidiano y adquirirán la nueva manera de considerar los fenómenos que es propia de las ciencias y que permite comprender su lenguaje. (Aliberas, J., Izquierdo, M., 2004).

Hay una gran distancia entre las perspectivas cotidiana y científica desde las que se contempla el mundo material y no se puede pasar de la una a la otra de manera espontánea sino que debe enseñarse desde los primeros años de escuela, pero atendiendo a las finalidades propias de los niveles básicos. Esta diferencia es la esencia del magisterio, que debe tirar de los alumnos para ir más allá de lo que ya conocen, abrirles la mente hacia dimensiones que les son ajenas porque requieren una actividad que quizás nunca les ha interesado y cuyas finalidades desconocían (la actividad científica, en nuestro caso, que es diferente de la actividad cotidiana). Los alumnos no ven en el mundo lo mismo que sus profesores y han de recorrer un camino difícil para identificar las entidades científicas que lo explican. El currículo se deberá estructurar a partir de contextos que inviten a desarrollar una actividad científica que proporcione a nuestros alumnos más jóvenes vivencias cognitivas: experimentales, emocionales, lingüísticas (es decir, modelizadoras) con las cuales poblar la naturaleza con las entidades abstractas que los explican. (Izquierdo, M., Adúriz, A., 2003).

Quizás el principal problema es el lenguaje, porque no es posible traducir al lenguaje cotidiano los términos teóricos, disciplinares, de las ciencias porque se aplican a contextos diferentes. Si bien un contexto cotidiano es apropiado para que el alumno se implique en él, le sugiere ideas, explicaciones y propuestas de trabajo extracientíficas porque corresponden a su manera de razonar, muy diferentes a la que el profesor promueve. (Gutiérrez, 2004). Los términos teóricos (las palabras de la ciencia) corresponden a las diferentes maneras de pensar de las disciplinas.

¿Cómo ha de ser el lenguaje científico en la escuela básica, con el que explicar el funcionamiento global del mundo material tal como lo proponen las ciencias? Las respuestas a estas preguntas corresponden a la Didáctica de las Ciencias, que es la ciencia a la que corresponde el diseño de la ACE (Perkins, 1989).

2. Del lenguaje científico en la AC al lenguaje científico en la ACE

Tanto los currículos oficiales de ciencias como los libros de texto (de primaria y de secundaria) presentan preámbulos, prólogos, introducciones a los capítulos en los que se recomienda trabajar en contexto, desarrollar competencias, dominar el lenguaje, promover la implicación de los alumnos... Pero un análisis detallado pone en evidencia que los temas que se proponen son los de las disciplinas (con sus entidades propias y sus lenguajes) y los contextos no son más que ejemplos de las entidades teóricas que se han introducido (sustancias, elementos, átomos, moléculas, fuerzas, energía, células, fotosíntesis...). Se impone la disciplina al mundo material, cotidiano: como que es tan complejo, hay tanto que conocer, se simplifica lo que se ha de enseñar mediante las palabras de la ciencia. La definición de sustancia pura, por ejemplo, substituye

al conocimiento de materiales concretos, que muy pocas veces son puros; una sola palabra sustituye a muchos materiales diferentes, que ya no hace falta conocer. La expresión $F = m \cdot a$ incluye innumerables situaciones en las cuales se ejercen fuerzas sin conocer como funciona ninguna de ellas; lo peor de esto es que ya parece innecesario conocerlo.

Quizás los alumnos de bachillerato de ciencias llegan a saber lo que significan en la práctica estos lenguajes, pero en la etapa básica no pueden saberlo porque no pueden entender la relación entre las entidades teóricas y los ejemplos que se proponen. Por lo tanto, esta estrategia de simplificación del conocimiento a enseñar no vale; no debemos utilizar las palabras de la ciencia como si fueran mágicas y su uso transformara la mente y liberara del trabajo experimental y reflexivo, científico. Lo importante es hacer comprender que estos lenguajes no se refieren a ‘cosas’ sino a relaciones entre fenómenos y que muy a menudo estas relaciones son cuantitativas. Los lenguajes teóricos de las ciencias deben conocerse pero no pueden ser lenguajes opacos que no muestran el extraordinario proceso de modelización teórica de los fenómenos.

En efecto, el lenguaje científico es teórico porque no se limita a describir lo que hay en el mundo sino que va más allá de lo que se observa, y porque explica mediante las nuevas entidades que introduce, que emergen de la actividad científica, que utiliza instrumentos que miden y que transforman los experimentos en números. Buena parte de las entidades científicas son relaciones entre las cantidades que resultan del uso de instrumentos específicos: las ondas sísmicas con el sismógrafo, las fórmulas químicas con los instrumentos que hacen posible el análisis elemental, las masas atómicas con las relaciones estequiométricas en los cambios químicos obtenidas con la balanza... Las matemáticas y la tecnología forman parte de la manera de pensar y de hablar de las ciencias. Por ello es un lenguaje que, con sus fórmulas y sus símbolos, sirve para hacer ciencias, sostiene sus formas de razonar y las comunica. ‘Hablar’ este lenguaje es acceder a la nueva manera de hacer y de pensar con las cuales los científicos construyen ‘modelos teóricos’ del mundo, que se comunican mediante los nuevos lenguajes que los explican, porque también los construyen (Giere, 1983, 1999).

J.A. Marina (2005) nos habla de la función de los modelos en el conocimiento humano ‘*Son un programa de acción, un conjunto de inferencias, un esquema de comportamiento... permiten comportamientos asombrosos como inventar narraciones, realizar inferencias, comprender sucesos, suplir información...*’. Los Modelos Teóricos en la AC tienen esta misma función, y la tendrán también los Modelos Teóricos Escolares, como veremos más adelante. Son ejemplos de problemas bien resueltos, que incluyen los valores que permiten considerarlos así y que se aplican a todos los problemas de un mismo Modelo. Por ello son esquemas de acción teórica (generalizable a un grupo amplio de problemas o de sucesos) que transforma el mundo cotidiano en científico. Los Modelos Teóricos de las ciencias son los que dan significado a las teorías, porque las relacionan con la intervención (también lingüística) en conjuntos de fenómenos; desde esta perspectiva semántica, las teorías científicas pueden considerarse como el conjunto de hechos que los Modelos explican y los enunciados teóricos en los que se fundamenta la explicación.

De hecho, podemos decir que los Modelos Teóricos son los sistemas idealizados de los que tratan los libros de texto y pueden funcionar como ejemplar para idealizar otros hechos. La diversidad de fenómenos en el mundo queda ordenada y simplificada bajo el paraguas de las ‘grandes ideas’ de los modelos. El problema es que nos muestran los Modelos como si fueran la realidad y por esto una enseñanza según los libros de texto actuales no funciona en la enseñanza para todos.

¿Cómo se introducen las palabras de la ciencia a quienes no la conocen y ni tan sólo se han interesado por ella ni van a continuar estudiándola? ¿Cómo hablar cuando se empieza a hacer ciencia, sin tener que renegar del sentido común con el cual se habían vivido los cambios en

el mundo material hasta entonces? Podemos hacerlo como cuando se da nombre a las cosas en la vida cotidiana y van unidos su nombre y al valor práctico que se les atribuye; también las 'palabras de la ciencia' van unidas a valores y maneras de actuar que deben conocerse para que tengan sentido.

Todos los lenguajes se generan cuando hay algo que decir que se quiere compartir con otras personas pero no hay un único lenguaje que sirva para decirlo todo; ni tan solo lo que llamamos lenguaje cotidiano es de aplicación universal, depende de la cultura de las sociedades en las cuales se habla; por ello, decimos que no hay textos sin contexto. El problema (o dificultad) del lenguaje científico en la escuela es que el texto corresponda al contexto y viceversa.

Y esto, si bien vale tanto para la enseñanza básica como para la secundaria, es revolucionario porque requiere un cambio muy importante en la manera de plantear un currículo autónomo para las ciencias básicas, para que realmente trabajar en los contextos adecuados para este nivel educativo permita la modelización teórica (Espinete et al, 2012). Por ello, porque se genera en una determinada manera de intervenir en unos determinados fenómenos, ha de ser introducido a la vez que se enseña lo que significa y lo que se puede hacer con él. Se ha de dar un lugar preferente al lenguaje al enseñar ciencias, porque consolida y hace comunicable la nueva manera de ver el mundo: es un lenguaje que no se refiere a las cosas cotidianas sino que se refiere a cómo se ven desde la perspectiva de los modelos teóricos.

Enseñar en contexto requiere un texto que lo acompaña, que empezará siendo cotidiano y terminará siendo científico, es decir, teórico.

Los alumnos que no van a ser científicos sólo pueden conocer en la escuela esta manera de trabajar y el nuevo lenguaje que ya forma parte de nuestra cultura general. Se ha de enseñar en relación a lo que se puede hacer con él; va a ser necesario decidir qué es lo que va a ser imprescindible conocer. En todo caso, si buscamos una enseñanza competencial, en contexto y modelizadora es porque sólo así se podrá acceder al lenguaje científico en la etapa básica (Gilbert et al., 2000) .

Así pues, el lenguaje de la ciencia para todos no es, sin más, el lenguaje de las disciplinas científicas con las que se ha ido explicando la intervención experimental en la naturaleza mediante definiciones y de manera parcelada sino que se ha de generar con actividad científica experimental y lingüística adecuada al mundo global de los alumnos. Por ello, un currículo de ciencias para todos no debe estructurarse a partir de las entidades de las disciplinas científicas (los átomos, las fuerzas, la energía, las células) sino en función de lo que se ha de poder llegar a decir del mundo real al terminar el ciclo; y esto está condicionado por la intervención experimental que se haya podido llevar a cabo, por los instrumentos que se lleguen a conocer y por los cálculos matemáticos con los que se hayan relacionado los datos numéricos. El currículo se deberá estructurar, por ello, a partir de contextos que inviten a desarrollar una actividad científica modelizadora que proporcione vivencias cognitivas (experimentales, emocionales, lingüísticas) a nuestros alumnos jóvenes con las cuales poblar la naturaleza con las entidades abstractas que los explican (Justi, 2006). Un currículo STEM reúne estas características.

Para generar este lenguaje hemos de reflexionar sobre una ACE en contexto (porque los alumnos deben saber de qué hablamos, desde una nueva perspectiva que aún no conocen), mediante Modelos Teóricos (porque ahorra ideas) y de manera competencial (porque el conocimiento adquirido se ha de poder aplicar).

3. Los Contextos y los Modelos para la Actividad Científica Escolar

Como hemos ido viendo, el lenguaje científico se refiere a un mundo material que ya ha sido transformado por una actividad científica, AC, que es experimental, conceptual (teórica) y lingüística. Este lenguaje se ha de enseñar pero ahora como parte de nuestra cultura, para educar: desarrollar la capacidad de pensamiento abstracto y práctico de nuestros alumnos en relación al mundo que habitan. Requiere ACE; el diseño de esta actividad es difícil y requiere creatividad, porque esta ciencia global no se explica en la universidad. Debemos inventarla, este es el principal mensaje de esta charla.

El diseño deberá tener en cuenta: la relevancia del contexto, puesto que se ha de generar discurso sobre sus fenómenos relevantes; la relación con otros fenómenos similares de otros contextos, puesto que ha de generar un Modelo Teórico; la intervención experimental, cuantitativa, en los fenómenos gracias a la mediación de instrumentos, para introducir los conceptos.

Los contextos y los fenómenos

La ACE es una actividad tecnocientífica (utiliza instrumentos, gestiona los cambios) y multidisciplinar, porque los contextos reales (el mundo en sí, si es que existe tal cosa) pueden explicarse desde diversas disciplinas científicas, a diferencia de lo que ocurre en los laboratorios universitarios, más especializados, que se centran en una única perspectiva (AC).

Si renunciamos a organizar la ciencia para todos según los lenguajes (definiciones y fórmulas) de las disciplinas científicas, debemos hacerlo según otro criterio que tenga en cuenta que los alumnos han de poder aplicar en la práctica lo que aprenden. Ahora debemos simplificar lo que se ha de enseñar identificando contextos significativos para el alumnado, que inviten a desarrollar la actividad científica genuina (ACE) de manera que sea lo más rentable posible: es decir, que permita, finalmente, hablar el contexto a la manera de las ciencias, convertirlo en un ‘Modelo’ de lo que es una explicación científica.

No sirve cualquier contexto, por supuesto. Una manera de hacer esta selección simplificadora de manera eficaz es guiarnos por las ideas básicas de las ciencias, que se refieren a los diferentes tipos de cambio que han sido estudiados por las ciencias. Estas ideas básicas serán el hilo conductor de los nuevos ‘textos’ que transformarán el contexto. Las dificultades son notables, porque un contexto que es significativo para el alumno porque ya lo conoce por experiencia lleva consigo un ‘texto cotidiano’ que va a competir con el nuevo texto científico que intentamos construir. Las preguntas genuinas que van a plantear los alumnos, las relaciones que establece entre los fenómenos que conoce, no son las que le interesan al profesor el cual, con su diseño didáctico, procura orientar el interés hacia alguna de las ideas básicas de las ciencias que los alumnos aún desconocen. (Izquierdo, M., 2013).

Son muchos los ‘contextos’ en los que pasan cosas que intrigan y que pueden resultar de interés docente: un supermercado, una barbacoa, la rotura de una pierna, un viaje nocturno en una tormenta... pero es razonable pensar que en un curso escolar se deberán escoger sólo algunos de ellos, porque no se trata sólo de conocerlos mejor sino que queremos transformarlos, y esto es laborioso. ¿Con qué criterio lo haremos? Como mínimo, hemos de poderlos conectar con alguna de las ideas básicas de las ciencias.

El diseño de la actividad docente ha de hacer encajar alguno de los fenómenos que se producen en el contexto escogido con las ideas básicas de las ciencias. Por ello, los temas de este nuevo currículo que proponemos son binomios idea básica–fenómeno en contexto a los que llamaremos Modelos Teóricos Escolares, que se irán desarrollando a lo largo del currículo, con

nuevos fenómenos que enriquecen una misma idea básica. Son estos MTE los que proporcionarán el nuevo lenguaje disciplinar que habrá transformado el contexto sin que por ello deje de ser cotidiano, porque la nueva cultura científica que el alumno ha de haber adquirido enriquece su manera de vivir y le permite transitar entre diferentes maneras de pensar.

A diferencia de los contextos, las ideas básicas de las ciencias son pocas, irreductibles unas a las otras (si hablamos de ‘Luz’ no estamos hablando de ‘Seres vivos’ o de ‘Fuerzas’) pero no incompatibles, todas son necesarias para explicar el mundo (lo ven desde diferentes prioridades) y deben reforzarse unas a otras, puesto que comparten la perspectiva científica–escolar. Son ellas las que introducen un enfoque disciplinar en la visión global que es propia de esta etapa, puesto que se refieren a los diferentes cambios del mundo material en los que han profundizado disciplinas diferentes.

Veamos algunas de ellas:

- * En la naturaleza se producen cambios irreversibles generados por diferencias, hasta que éstas se anulan y que transcurren intercambiando calor y trabajo (cambio en todos los sistemas materiales);
- * la fuerzas van a pares y producen cambios (en un sistema mecánico);
- * la interacción química hace desaparecer sustancias y aparecen otras nuevas, pero la masa se conserva (cambios en un sistema químico);
- * la luz se propaga en línea recta (la luz, como la energía, toma significado en diferentes sistemas materiales);
- * los seres vivos están formados por células, interaccionan con el medio, las poblaciones evolucionan; (cambios en un sistema biológico)
- * la Tierra cambia y tenemos indicios materiales de su historia de millones de años (cambios en un sistema geológico);
- * los cambios de los materiales pueden interpretarse imaginando que están formados de partículas...(cambios en diversos sistemas materiales en cuanto que son sólidos, líquidos o gases).

Así pues, lo que simplifica el conocimiento científico y lo hace enseñable y útil para la formación básica de todas las personas no van a ser las fórmulas, sino las ideas y las prácticas que se esconden tras ellas y que permiten interpretar el funcionamiento (¿artificial?) del mundo material y que se presentan relacionadas con contextos que promueven ACE.

Los modelos y la modelización

Cuando alguna de estas grandes ideas se aplica a un conjunto de fenómenos que funcionan de manera similar, se puede intervenir en todos ellos de la misma manera y hablar de ellos con un mismo lenguaje abstracto hablamos de Modelos Teóricos (Izquierdo, 2014). El Modelo Teórico es una Idea Básica junto con el fenómeno contextualizado que interpreta. Por ejemplo, si somos capaces de ver en los cambios de los materiales la misma aparición y desaparición de sustancias, la conservación de la masa y de la energía, las proporciones fijas en la interacción, los estamos ‘modelizando’ según el Cambio Químico; estamos iniciando un camino que nos llevará a ‘necesitar’ átomos químicos, enlaces, moléculas, iones...a medida que conozcamos sustancias (visible e invisibles, simples y compuestas) y podamos caracterizarlas. Antes de necesitarlas, es muy difícil comprender lo que son estas entidades abstractas y ‘verlas’ en el mundo material (Adúriz, A, Izquierdo, M, 2009).

Como que la naturaleza es compleja y las maneras de intervenir en ella son muy diversas, no hay un único Modelo Teórico que pueda incluir esta diversidad, puesto que el Modelo no es sólo una idea o una fórmula (tiempo, ecuación, partícula) sino una idea junto con un fenómeno que concreta su significado y permite aplicarlo: el tiempo geológico no le sirve a la química, las ecuaciones químicas no son lo más importante para la biología, los átomos de la química no son los de la física. Por ello, la ciencia para todos ha de ser multidisciplinar (Erduran, S., Duschl, R., 2004).

El proceso de transformación del contexto, de cotidiano a científico, es un proceso de modelización a lo largo del cual se irán relacionando grupos de fenómenos similares con un ‘Modelo Teórico’ que muestra por qué son similares, qué es lo que tienen en común, permite imaginar estructuras, propiedades, interacciones. Con esta estrategia de buscar-encontrar similitudes se economizan recursos cognitivos, porque se vertebran alrededor de ideas básicas que una y otra vez se refuerzan al poderse aplicar a nuevos fenómenos.

Como hemos dicho ya, este proceso es difícil. El mundo modelizado según las ciencias, si bien es simple y ordenado, es artificial; las personas no ordenan el mundo espontáneamente según los Modelos Teóricos (MT) / Ideas Básicas de las ciencias, lo hacen aparecer mediante otro tipo de modelos. Se ha de enseñar, diseñando las secuencias docentes (SEA) a la medida del alumno. Nos da confianza recordar que los buenos maestros de todos los tiempos han recomendado ‘enseñar pocas ideas pero claras’; la experiencia docente coincide pues con las propuestas de las ciencias cognitivas.

Pero el alumno ha de aceptar la simplificación conceptual y práctica que le proponen los MT de las ciencias, sus Ideas Básicas, ha de entrar en el juego de la modelización.

¿Cómo conseguir que estas ideas básicas de las ciencias sean también las ideas básicas en la enseñanza para todos, que se encarnen en contextos relevantes sin que esto requiera conocer todas las disciplinas? Necesitamos buenas preguntas que impulsen la ACE y daremos las respuestas justas que reclame el contexto que se ha escogido. Para ello, deberemos presentar la ‘Idea’ hasta donde se pueda desarrollar mediante ACE de manera que se muestre en un fenómeno del contexto. Per esto, a estos Modelos cuya finalidad es hacer ciencia escolar los llamamos Modelos Teóricos Escolares (MTE).

Por ejemplo, podemos hablar, en el diseño, del Modelo Teórico ‘rayo de luz’, MRL, porque lo que vamos a destacar de la luz, en nuestras actividades, es que ‘se propaga en línea recta’ y esto permite interpretar por qué vemos la luna y sabemos dónde está, lo que ‘hacen’ las lentes y por qué nos sirven los gps ; la luna, las lentes, el gps formarán parte del contexto de la ACE, que deberemos diseñar adecuadamente. En otro momento, en un nuevo contexto o situación, será necesario hablar de ondas y establecer una relación mucho más abstracta con otros movimientos ondulatorios que, al ser más ‘visibles’ ofrecen una manera de imaginar ondas de luz y caracterizarlas por su frecuencia. Nuestro ‘rayo de luz’ no desaparece pero se enriquece al ser, también, ondulatorio y explica así más cosas de la Luz sin contradecir que ‘se propaga en línea recta’; y tanto el rayo como las ondas son conceptos y términos que han surgido como necesidad frente a fenómenos que les dan sentido.

Mediante los MTE que necesita la ACE los alumnos van adquiriendo una mirada interventora y cuantitativa con la cual relacionar los fenómenos y gestionarlos.

Como que los ‘contextos’ incluyen muchos fenómenos diferentes, pueden ser explicados con diversos MTE: la explicación sobre la formación de fósiles, por ejemplo, se enriquece si confluyen en ella el Modelo Tierra y el Modelo Cambio Químico.

Pensemos un poco más sobre estas últimas afirmación, que se refiere a la multidisciplinariedad. Hemos hablado hasta ahora de contexto como algo más amplio que un fenómeno en el cual intervenir. Por ejemplo, una fiesta campestre con barbacoa puede proporcionar un contexto en el cual considerar que un alimento se ha carbonizado por descuido; la carbonización de una salchicha es un fenómeno que puede ser explicado (modelizado) como ‘cambio químico’, en el cual se hace visible una sustancia simple, el carbón que estaba en la chuleta como ‘elemento’/átomo. La barbacoa es una situación que puede ser estudiada desde muchos otros puntos de vista (hay muchos fenómenos posibles en este contexto); pero la salchicha que se carboniza, considerada como CQ, se ha de explicar según las entidades de la química, que son imprescindibles para comprender lo que ha pasado; y una vez interpretado este fenómeno, se puede considerar un hecho ejemplar o paradigmático de lo que es un cambio químico, que nos permite interpretar otros cambios similares (Fourez, 1998).

El resultado de haber ‘modelizado’ (¿o modelado?) los fenómenos de un contexto es saber de qué hablamos cuando nos referimos a las entidades de las ciencias (los átomos, los nutrientes, las palancas, los circuitos eléctricos) de manera relacionada entre si; se ha cambiado el enfoque, se ha pasado de un saber cotidiano a uno científico, pero de manera que se pueda transitar de uno a otro, puesto que no se ha impuesto sino que se ha razonado. La ‘idea básica’ que es el núcleo de Modelo ha hecho surgir el problema que se ha solucionado gracias a las relaciones que se establecen entre las variables que se identifican, las cuales requieren nuevos términos para ‘hablarlas’; estos términos (las fuerzas, los átomos, las placas continentales, la resistencia eléctrica...) serán las nuevas entidades que a partir de este momento ya van a formar parte de las explicaciones científicas del nuestro mundo material.

Es decir, habrá cambiado el lenguaje porque ha cambiado la manera de interpretar los cambios en la naturaleza. Pero ¿hasta qué punto llegarán a confluír la interpretación inicial del contexto, debida a lo que los alumnos ya habían ‘vivido’ y la interpretación final? Puesto que no hemos impulsado una enseñanza de definiciones, probablemente deberemos admitir un rango de explicaciones válidas aunque no sean exactamente las que esperábamos. Va a ser necesario cambiar la manera de evaluar en la enseñanza básica.

Hablaremos de todo ello con un ejemplo de currículo que ha sido experimentado durante cinco años en 11 centros escolares en Catalunya (públicos y concertados), con la intención de que los alumnos adquieran las competencias curriculares de pensamiento científico establecidas por la administración.

4. Reflexiones acerca de un currículo de ‘ciencias para todos’ o ‘ciencia escolar’ (STEM)

Los currículos para adquirir competencias son una novedad y deberían substituir a los antiguos, los que proponían listas de temas acompañados de preguntas o problemas que se servían para evaluar a los alumnos a final de curso o a final de etapa (o en una reválida, como ahora se pretende de nuevo). La nueva finalidad de un currículo competencial de ciencia básica es adquirir competencias curriculares, que incluyen a las científicas generales (en nuestro caso) y éstas, a las básicas. Esta ‘suma de competencias’ nos da como resultado algo inédito: una Ciencia Escolar que es el resultado de una ACE genuina, que capacita para pensar sobre el mundo material, intervenir en algunos de sus fenómenos contextualizados y comunicar todo ello con un lenguaje científico. Esto es diferente a conocer una disciplina y resolver sus problemas paradigmáticos; un currículo competencial ha de ser modelizador, en contexto, multidisciplinar.

El Departament de Didàctica de les Ciències de la UAB y el CESIRE (Departament d'Ensenyament de la Generalitat de Catalunya) han diseñado un currículo experimental para los tres primeros años de la ESO 'Competències de pensament científic. Ciències 12–15' que ha aportado experiencias interesantes al ser aplicado (Márquez et al., 2013). El currículo integra los conocimientos básicos de las 'tecnociencias' para proporcionar a los alumnos los elementos del pensamiento científico y la capacidad de explicar algunos de los fenómenos de la naturaleza a la manera de los científicos. La multidisciplinaridad no pretende desdibujar las aportaciones de las disciplinas; al contrario, las consideramos un 'patrimonio cultural' irrenunciable. Pero vamos a tomar de ellas sólo las ideas básicas, estrechamente relacionadas con algunos fenómenos que, por ello, van a resultar ejemplares: son estos fenómenos lo que los alumnos deberán conocer, porque la finalidad que se persigue no es conocer las disciplinas sino los cambios que se producen en el mundo material.

Los 9 temas que forman el currículo son situaciones o contextos que nos parecen apropiados para trabajar alguno de los modelos teóricos escolares vinculados a las ideas básicas. Los presentamos como Unidades Didácticas (UD), tres para cada curso, que están formadas por SEA que ordenan las actividades de los alumnos. Los títulos de las UD's están pensados para suscitar una determinada actitud en los alumnos (que los títulos intentan reflejar) y no 'cortan' los conocimientos sino que se van desarrollando de manera que los primeros sean la base de los que vienen a continuación y que lo que se ha estudiado en primero de ESO, por ejemplo, se amplíe y se reconstruya en segundo y en tercero gracias a las nuevas actividades que se llevan a cabo.

Así, en primero de ESO nos preguntamos dónde estamos y nos referiremos al Espacio, la Tierra con agua, la Vida. En segundo se toma conciencia de que nos interesan los cambios en los sistemas materiales: hay cambios espontáneos y que estos cambios son irreversibles y son debidos a 'diferencias' que se anulan. En tercero se muestra cómo se pueden gestionar los cambios espontáneos y cómo se consigue esto, con ingenio. Tanto los diferentes temas del currículo como los actividades de cada tema pueden 'narrarse' porque constituyen parte de una 'historia sobre el mundo' que se va desplegando.

Los temas son un binomio de 'contexto' (sugerido por el título) y de la 'Ideas Básicas/ MTE' que predomina y que va a modelarlo. En la Tabla 1 presentamos los temas con una breve glosa de su contenido (Márquez et al., 2012).

Primero ESO

UD1 La osadía de explorar el Universo: lejano pero a la vez, cercano (En el Universo hay luz que interacciona con los materiales que imaginamos formados por partículas)

UD2 El Planeta azul. ¿Por qué? ¿Hasta cuándo? (Planeta Tierra con atmósfera, ciclo del agua)

UD3 La Vida, igual pero diferente ('Ser Vivo' en relación a su ambiente, que se ha trabajado en la UD2)

Segundo ESO

UD4 La Tierra, un Planeta que va cambiando (La Tierra cambia a lo largo de una larga historia, que se relaciona con lo que se ha trabajado en la UD2)

UD5 ¿Qué tienen en común las Montañas rusas y los 'Castellers'? (Interacción en sistema físico en el que intervienen máquinas)

UD6 ¿Que viene el lobo! ('Ser vivo'-poblaciones, Ecología, intervención de decisiones humanas)

Tercero ESO

UD7 Domesticando al rayo (La electricidad, el aprovechamiento de los cambios espontáneos que permite)

UD8 De la vela a la Tabla Periódica (nuevas entidades 'eléctricas' que explican todos los cambios químicos y permiten gestionarlos, los alimentos como combustibles para la Vida)

UD9 Dar vida, cuidar la Vida (Salud humana, gestión de 'ser vivo')

Tabla 1: Los temas del proyecto 'Competències de pensament científic'. Ciències 12–15.

En la Tabla 2 presentamos brevemente sus MTE.

MRayo de luz (MRL): la luz 'está ahí', se propaga en línea recta, nos permite ver

MCinético Molecular (MCC): las partículas, una manera imaginativa de contemplar los procesos y propiedades de los materiales, a partir de su estructura y con dependencia de la presión y de la temperatura

MSer Vivo (MSV): la vida, que se gestiona en las células, evoluciona de generación en generación y forma parte del medio ambiente/ interacciona con él

MTierra (MT): el tiempo geológico y la interpretación de los vestigios de los cambios que se producen en el interior de la tierra y en su superficie, el ciclo del agua

MMecánica (MM): las fuerzas y la electricidad, su transmisión en sólidos, líquidos y gases y su relación con el movimiento

MCambio Químico (MCQ). La desaparición-aparición de sustancias, los elementos-átomos, el potencial químico y su gestión MSalud (MS): el funcionamiento global, biológico, de la persona.

Tabla 2: Glosa de los MTE en el proyecto experimental.

Cada uno de los contextos escogidos contienen fenómenos que se pueden explicar desde diferentes Modelos, a pesar de que uno de ellos predomine. Por ejemplo, en la UD3 el modelo 'Ser Vivo' es el más importante y el contexto es apropiado para este modelo, pero también se habla por primera vez del Cambio Químico cuando se profundiza en un fenómeno concreto para responder la pregunta: ¿De qué está hecha la lechuga?, que ya no es biológica sino que corresponde a la manera de trabajar de la química: la lechuga se estruja y se carboniza, sus células se destruyen y la aparición de la sustancia simple carbón conduce a pensar cómo estaba antes este carbón en la lechuga... admitiendo que su masa sí estaba allí. 'Carbonizar la lechuga', una vez interpretado el proceso, se convierte así en un 'Hecho idealizado', ejemplar, que corresponde a un 'modelo' de lo que es un cambio químico (Moraga, 2013).

Todos los MTE se refieren a uno de los tipos de cambio que caracterizan a los diferentes sistemas materiales a los que se refieren las Ideas Básicas, que tiene en común con todos los otros la conservación de la masa y de la energía y la irreversibilidad de los cambios, que pueden gestionarse bien o mal. El Sol está siempre presente como fuente de energía útil ('productor' de

alimento) y de calor; por lo tanto, la fotosíntesis y la combustión son procesos que consideramos fundamentales y procuramos que confluyan todas las disciplinas al explicarlo.

La caracterización y nombre que damos a los MTE es funcional: depende de la actividad modelizadora específica que le confiamos, de los hechos idealizados que esperamos poder construir en clase. Por ejemplo, si bien en nuestra propuesta la electricidad forma parte de la ‘Mecánica’ por economía (¡hay poco tiempo!), podríamos también considerarlo más autónomo y hablar de un ‘modelo electricidad’, teniendo en cuenta los cambios propios de un sistema eléctrico. En todo caso, está claro que el MTE no es la ‘Idea Básica’ sino que, como ya se ha dicho, es esta idea concretada mediante una actividad científica (experimental, conceptual y lingüística) que transforma un fenómeno que se produce en un contexto que consideramos importante.

Alrededor de estos ‘fenómenos modelizados’ o ‘Hechos Ejemplares’ se va formando una trama de conceptos que son disciplinares (no tenemos otros que puedan explicar el mundo de manera científica) pero también prácticos y conectados entre sí; por lo tanto, los alumnos se van introduciendo en las disciplinas empezando por sus preguntas básicas y no por la definición de sus entidades antes de saber para qué sirven.

Veamos como ejemplo cómo se van introduciendo la idea ‘Cambio Químico’ de manera transversal y cómo funciona esta idea como Modelo Cambio Químico que se va desarrollando a lo largo de los tres cursos (Merino et al., 2011).

Empezamos por despertar el interés por materiales y cambios concretos: de qué están hechos los planetas (UD1), cómo es el agua y cómo circula por la Tierra (UD2), por qué se obtiene carbón al calentar fuertemente la lechuga (UD3). Hemos tenido que identificar materiales invisibles pero con masa (el oxígeno, el dióxido de carbono) y sorprendernos ante una desaparición/aparición de materiales. ¿Quién puede crear una cosa así? Puede parecer magia pero vamos a mostrar, a lo largo de las clases, que no lo es. Para ello, ‘necesitamos’ el átomo indestructible de los elementos. Estos conocimientos permiten interpretar las erupciones volcánicas, pensar en las interacciones de los materiales en el interior de la tierra (UD4) y sorprenderse por la fotosíntesis en la UD6. La UD7 introduce los fenómenos eléctricos y permite relacionar la conductividad de algunos materiales con su estructura específica; el átomo de los elementos adquiere una estructura interna y ‘necesitamos’ electrones. La UD8 formaliza y ordena estos cambios con la ayuda de la Tabla Periódica; ya no hablamos de materiales sino de sustancias, reconocemos el carbón en la llama de vela y vemos que las sustancias interactúan químicamente en proporción fija de masa, reconocemos iones en algunas disoluciones acuosas (el agua es la protagonista principal en todo el currículo, junto con el Sol) y controlamos sus interacciones (ácidos y bases, sales) y descubrimos macromoléculas en los alimentos, que aprendemos a cocinar. Finalmente, en la UD9, disponemos de recursos para interpretar la función de las diferentes sustancias en el funcionamiento del cuerpo humano y la mediación de los diversos instrumentos que permiten diagnosticarlo.

La gran idea de que los materiales están formados por partículas nos acompaña desde el principio y también la necesidad de tener un átomo de la química (es decir, un partícula que interactúa con otras produciendo los cambios químicos), que será la gran aportación que hace la química a las otras ciencias. Se introduce como ‘masa de elemento que se conserva’ (UD3, en la carbonización de la madera y de la lechuga, en el aumento de masa del hierro cuando se quema), se relaciona con las moléculas de los gases (UD2), se introducen los iones en la UD7, las macromoléculas en la UD8. Por ello, modelamos los fenómenos mediante la idea de átomo químico, que se va caracterizando a medida que conocemos nuevos cambios químicos; y no empezamos hablando de la Teoría Atómica.

La estrategia docente que nos va a acompañar a lo largo de todos los cursos requiere clases participadas, atención extrema al lenguaje, experimentación y actitud interesada en preguntarse sobre lo que pasa a nuestro alrededor y buscar respuestas que no cierren los temas sino que los mantengan abiertos a nuevas preguntas y respuestas. Los contextos (situaciones) que son conocidas por los alumnos permiten orientar su mirada hacia una de las preguntas que nos parezcan básicas. Estas preguntas deberán dar lugar a una actividad que permita relacionar el fenómeno con otros y ‘decir’ estas relaciones (o regularidades) mediante un concepto nuevo, propio del Cambio Químico. El diálogo entre alumno que aprende y profesor que orienta la mirada y el pensamiento de los alumnos es imprescindible, así como el trabajo paciente de creación de lenguaje, de decir lo que pasa de manera que refleje lo que se ha pensado sobre ello. (Aliberas, 2012).

Vamos a necesitar recursos didácticos nuevos, que hagan posible el trabajo en grupo, la experimentación tranquila y participada que conecte con buenas preguntas que finalmente puedan responderse, la puesta en marcha de pequeños proyectos que sean la síntesis de una UD, o de las tres de un curso, o de algunas de los tres cursos. Para ello necesitaremos instrumentos didácticos ya bien conocidos en didáctica de las ciencias como los mapas conceptuales o la V de Gowin. Va a ser especialmente importante que los alumnos en su aprendizaje desarrollen hábitos de metacognición para que se den cuenta de que lo que están haciendo en clase es parecido a lo que hacen los científicos (AC) y que es una manera de pensar y de actuar que les va a acompañar y que van a poder enriquecer a lo largo de su vida (ACE). Y es imprescindible que los alumnos se comprometan en sus aprendizajes, que sean capaces de darse cuenta de si han comprendido o no y puedan justificarlo. La evaluación ha de ser transparente, compartida con el profesor. Por ello los criterios de evaluación final deberían presentarse como rúbricas en las que aparezcan ordenados y relacionados con lo que se ha hecho realmente en clase. Estas rúbricas permiten a los alumnos autoevaluarse y coevaluarse, como corresponde a su identificación con la actividad que han ido desarrollando (Sanmartí, 2007, 2002).

Hemos de ser conscientes de que la autonomía que potenciamos al hacer que el alumno sea competente en su ciencia escolar requiere una evaluación inédita. Los alumnos podrán resolver estas situaciones problemáticas, prácticas, de muchas maneras y va a ser necesario establecer una amplia gama de posibilidades, muy diferente a la rigidez a la que estamos acostumbrados donde las respuestas son verdaderas o falsas si atender a lo que las sustenta, es decir, la actividad científica que la fundamenta y de la cual es consecuencia.

Resumiendo: se trata de diseñar una actividad de los alumnos (ACE) que modelice un contexto mediante las ideas básicas de las ciencias. Con ello, esperamos que el alumno mire de una manera nueva este contexto y que esta nueva mirada sea la base de posteriores construcciones conceptuales, para ser fieles a la finalidad de hacer vivir la ciencia.

5. Reflexiones finales

La recomendación que nos hacen las administraciones educativas de trabajar en contexto, de manera multidisciplinar, modelizadora y desarrollando competencias, responde a una manera actualizada de concebir tanto el conocimiento científico como el aprendizaje, acorde con la filosofía de la ciencia y con la investigación actual en didáctica de la ciencia. Pero, cuando se aplica a la enseñanza obligatoria (primaria y secundaria obligatoria) vemos que es necesario dar un paso más y sustituir los temas disciplinares de siempre (que se refieren al mundo ya interpretado por las disciplinas científicas) por contextos de interés para los alumnos, que les inviten a pensar, a hacer (experimentar) y a comunicar (generar lenguajes) para que tengan el

gozo de identificar las regularidades que van a ordenar su mundo y participar así de los más genuino de la actividad científica (AC).

A lo largo de esta reflexión hemos visto que hay serias dificultades para ello: en esta etapa necesitamos una explicación para un mundo global pero sólo disponemos de disciplinas científicas que lo parcelan. Estas dificultades tienen un componente lingüístico, que es muy relevante porque toda la enseñanza se vehicula a través de la lengua. Cuando se hacen ciencias, y también en la clase, se ha poner por escrito algo que se hace en el laboratorio con ayuda de instrumentos que cuantifican. El ‘texto’ científico que el alumno deberá llegar a dominar corresponde a un contexto que el alumnado todavía no conoce; lo ha de construir mediante ACE a partir partiendo de su contexto inicial, que es cotidiano. Esto sólo se puede hacer si se acompaña al alumno en el proceso de modelización que va transformando sus ideas y, en consecuencia, su lenguaje.













Los Modelos Teóricos de las Ciencias van a funcionar como guía para transformar los fenómenos en los que los alumnos intervienen en alguno de los ‘modelos de explicación y de acción científica escolar’ previsto en el currículo (que será un modelo teórico escolar, MTE). Todo ello, convenientemente gestionado, nos va a proporcionar una ciencia escolar que es holística y que, a la vez, tiene en cuenta a las disciplinas científicas.

En la medida que se respeta el pensamiento autónomo del alumnado (como requisito competencial), la evaluación de los resultados finales deberá hacerse de manera más atenta a lo que el alumno es capaz de hacer, a la relación texto-contexto que le resulta significativa y no al texto descarnado que algunas veces se confunde con la ciencia.







Se está produciendo un curioso fenómeno que debería preocuparnos. Se multiplican propuestas docentes que sólo destacan la importancia de la implicación de los alumnos, sea lo que sea lo que aprendan porque se suponen que, si ellos quieren, van a encontrar los conocimientos que requieren en Internet. Esto no es así, es demasiado grande la distancia que hay entre los lenguajes científicos y los cotidianos. Enseñar ciencias es difícil y no puede dejarse a la improvisación ni a la interpretación libre de unos textos escritos en una clave que los alumnos no conocen. La Didáctica de las Ciencias ha incorporado las nuevas aportaciones de las ciencias cognitivas y de la lingüística, ha reflexionado sobre la función de las emociones en el aprendizaje y de los modelos en el diseño de la enseñanza y, con ello, va proponiendo maneras de trabajar que son nuevas, que abren nuevas perspectivas como las que hemos estado considerando. Todo ello debe tenerse en cuenta para no desandar un camino que se ha recorrido con esfuerzo.

Reconozco que aunar competencias, contextos y modelos para una ciencia escolar básica, autónoma, no es sencillo, pero me parece que se va perfilando un camino y una manera de recorrerlo que permite que toda la población disfrute de los conocimientos científicos, que son un patrimonio cultural al cual no podemos renunciar, y de la experiencia de hacer ciencia.

Referencias

-  [Adúriz A., Izquierdo M. \(2009\).](#)
Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales.
Revista electrónica de investigación en educación en ciencias, 41–49.
-  [Aliberas J. \(2012\)](#)
Aproximació als fonaments epistemològics i psicològics per al disseny i aplicació d'una seqüència de ciències a l'ESO.
Tesis Doctoral, UAB.
-  [Aliberas et al \(2004\).](#)
Pensar, escriure y actuar a la classe de ciències.
Per un ensenyament de les ciències racional i raonable.
Cerdanyola: UAB
-  [Astolfi J.P. \(2008\).](#)
El error, indisociable del progreso científico.
En 'Error y Conocimiento: la gestión de la ignorancia desde la Didactología, la Ética y la Tecnología',
Estany et al eds. La razón aérea: Granada.
-  [Besson U. et al \(2003\).](#)
A mesoscopic Model of Liquids for Teaching Fluid Statics.
Science Education Research in the Knowledge-Based Society, 221–229.
-  [Buty C., Tiberghien A., Le Maréchal J.F. \(2004\).](#)
Learning hypotheses and associated tools to design and to analyse teaching-learning sequences.
Int.J. Dci. Ed., 26 (5), 579–604.
-  [Cartwright N. \(1999\).](#)
The dappled world: a study of the boundaries of sciences.
Cambridge: Cambridge University Press.
-  [Echevarría J. \(2002\).](#)
Ciencia y valores.
Destino: Barcelona
-  [Echevarría J. \(1985\).](#)
Filosofía de la Ciencia.
Akal : Madrid.
-  [Erduran S., Duschl R.A. \(2004\).](#)
Interdisciplinary characterizations of Models and the nature of chemical knowledge in the classroom.
Studies in Science Education, 40(1), 105–138.
-  [Espinete M. et al. \(2012\).](#)
The role of Language in modelling the Natural World.
En International Handbook of research in Science Education, Tobin K ed.
-  [Fourez G. \(1998\).](#)
La construcción del conocimiento científico.
Madrid: Narcea.

-  [Giere R.N. \(1988\).](#)
Explaining Science. A cognitive approach.
Minneapolis. University of Minnesota Press.
-  [Giere R.N. \(1999\).](#)
Del realismo constructivo al realismo perspectivo.
Enseñanza de las Ciencias, número extra, 9–13.
-  [Gilbert J. K., Boulter C.J. \(2000\).](#)
Developing Models in the classroom.
Kluwer: Dordrecht.
-  [Gutiérrez R. \(2004\).](#)
La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje.
Alambique, 42, 8–18.
-  [Izquierdo M., Sanmartí N., Espinet M., García P., Pujol, R.M. \(1999\).](#)
Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar.
Enseñanza de las Ciencias, número extraordinario, junio, 79–92.
-  [Izquierdo M., Adúriz A. \(2003\).](#)
Epistemological foundations of school science.
Science & Education, 12(1), 27–43.
-  [Izquierdo M. \(2013\).](#)
School Chemistry: a philosophical and historical approach.
Science & Education, 22, 1633–1653.
-  [Izquierdo M. \(2014\).](#)
*Los modelos teóricos en la enseñanza de la ‘ciencia para todos’
(ESO, nivel secundario).*
Biografía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza, 7(13), 69–85.
-  [Justi R. \(2006\).](#)
La enseñanza de las Ciencias basada en modelos.
Enseñanza de las Ciencias, 24(2), 173–184.
-  [Marina J.A. \(2005\).](#)
Teoría de la inteligencia creadora.
Anagrama: Madrid.
-  [Márquez C., Izquierdo M. \(2013\).](#)
Projecte curricular “Competències de Pensament científic. Ciències 12-15”.
Revista Ciències, 26, 50–51.
-  [Márquez C. et al. \(en nombre del grupo de diseño\) \(2012\).](#)
Identificación de los elementos esenciales en un diseño curricular “por competencias”.
Domínguez Castiñeiras, J.M. (Ed.) Comunicació oral, XXV Encuentro de
didáctica de las ciencias experimentales, p. 145–149.
Santiago de Compostela, Espanya.
-  [Matinand J.L. \(1986\).](#)
Enseñanza y aprendizaje de la modelización.
Enseñanza de las Ciencias, 4(1), 45–50.

-  [Merino C. et al. \(2011\).](#)
Aportes a la modelización según el cambio químico.
Educación Química, 22(3), 212–223.
-  [Moraga S. \(2013\).](#)
Modelización del Cambio Químico en el ámbito del ‘Ser Vivo’.
Tesis de master UAB.
-  [Perkins D.N. \(1989\).](#)
Knowldge as design.
London: Erlbaum.
-  [Sensévy G., Tiberghien A., Santini J., Laubé S., Griggs P. \(2008\).](#)
An epistemological approach to modeling: Cases Study and implications for science teaching.
Science Education, , 92(3), 424–446.
-  [Sanmartí N. \(2007\).](#)
Evaluar para aprender.
Barcelona: Graó.
-  [Sanmartí N. \(2002\).](#)
Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria.
Madrid: Síntesis.

