



*Fotografías Wilson Celis Ariza  
Licenciado en Biología.  
Especialista en enseñanza de la Biología UPN*

# LOS MODELOS TEÓRICOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS 'CIENCIAS PARA TODOS' (ESO, NIVEL SECUNDARIO)

## Theoretical models in "science for everyone" teaching (ESO, high school level)

Fecha de recepción: 6 de octubre de 2014  
Fecha de aprobación: 20 de noviembre de 2014

Mercè Izquierdo Aymerich<sup>1</sup>

### Resumen

En este artículo se reflexiona sobre los retos que plantea a la enseñanza de las ciencias el énfasis actual en la competencia científica escolar

- Las ciencias escolares a nivel básico han de proporcionar los conocimientos que permitan a los alumnos interpretar algunos los fenómenos (cotidianos, relevantes). Pero los modelos teóricos escolares se inspiran en las disciplinas científicas y no en una 'Ciencia única' que abarca todos los fenómenos del mundo material.
- Han de ser genuinas: han de responder a preguntas que tengan significado para los alumnos, sabiendo que las respuestas están ya determinadas en los currículos.

Para resolver estos retos debemos revisar el significado de los Modelos Teóricos en las Ciencias y las aportaciones que éstos hacen tanto al diseño de los modelos teóricos escolares como a la práctica de la docencia en los niveles de educación básica. Nuestra reflexión se concreta en el diseño del proyecto curricular 'Ciències 12-15', que se ha aplicado en ocho escuelas experimentales en Cataluña.

### Palabras clave

Modelización, educación por competencias, educación secundaria.

### Abstract

This article reflects on the challenges that are posed to the science teaching by the current emphasis in the school scientific skill.

- The school sciences at a basic level are supposed to supply knowledge that let students construe some phenomenon (daily, relevant). *But the school theoretical models are inspired in the scientific disciplines even they are not inspired in an "only Science" which take on the entire phenomenon in the material world.*
- They are supposed to be genuine: they must respond to questions *which are meaningful to the students*, knowing that the answers are already determined in the curriculum.

To solve these challenges it is necessary to check the meaning of the theoretical models in the Sciences and their contributions to the school theoretical models and the teaching practice in the basic education levels as well. This reflection settles on the design of the curricular project 'Ciències 12-15' which has been applied in 8 experimental schools in Catalonia.

### Keywords

Modeling, competency-based education, high school education.

<sup>1</sup> Unitat Departamental de Didàctica de les Ciències, UAB. Barcelona. España. Correo electrónico: merce.izquierdo@uab.cat

## 1. Introducción: planteando el problema

Hay una contradicción entre la necesidad de una ciencia escolar que sea genuina, (competencial, que requiere capacidad de inventar y de formular preguntas) y un currículo que proporciona respuestas a preguntas que difícilmente podrán plantearse los alumnos.

Esta discrepancia se hace más evidente debido al actual giro axiológico de la filosofía de las ciencias (Echeverría 2002, 1995), según el cual los conocimientos científicos son fruto de una actividad científica que se evalúa según sistemas de valores diversos que dependen de los contextos concretos en los que esta actividad se desarrolla. En el momento actual la sociedad no espera de las ciencias una ‘verdad sobre el mundo’ (las ciencias ya no lo son) sino la solución de problemas concretos que tienen que ver con la supervivencias de las personas o del planeta, para lo cual se alían la ciencia y la tecnología; por esto podemos referirnos a las ciencias actuales como tecnociencias y así deberíamos plantearlas en la escuela.

Para ser fieles a este enfoque práctico de las tecnociencias que, por otra parte, coincide con el énfasis en la ‘actividad genuina’ de las actuales teorías sobre el aprendizaje competencial, la alternativa sería empezar por plantear un problema y desarrollar actividad científica en clase para resolverlo. Y con ello aparecen las contradicciones a las que nos referíamos, puesto que, si bien las ciencias son el resultado de una actividad humana creativa, que abre caminos con tenacidad y supera retos y problemas inéditos, lo hace dando por supuestos determinados conocimientos ya aceptados. Cuando esta ciencia se enseña ‘a todos’ debe atenderse tanto a la actividad creativa como a los conceptos disciplinares (diversos, porque lo son las disciplinas) sobre los cuales esta actividad se apoya, que constituyen una riqueza que debemos preservar y transmitir (Astolfi 2012).

Nuestro compromiso como educadores consiste en proporcionar a los alumnos recursos para poder ‘pensar el mundo’ y para que sean capaces de tomar las decisiones que harán que su vida sea humana y, por ello, comprometida. Los queremos creativos pero rigurosos y por ello, como punto de partida, les damos a conocer lo que otras personas antes que ellos han pensado, escrito y experimentado a lo largo de sus vidas dedicadas a conocer, transformando, el mundo material, en un esfuerzo sostenido de progresar aunque sea tanteando y según un sistema de valores que también ha de ser revisado a medida que se avanza.

No es nada fácil hacer que la creatividad de los alumnos y su aprendizaje de las disciplinas sean compatibles.<sup>2</sup>

Para resolver esta aparente contradicción entre la disciplina y la motivación personal nos hemos referido a una ‘epistemología de la escuela’ gracias a la cual la Actividad Científica Escolar (ACE) sea ‘racional’ (según la ciencia didáctica) y razonable (según la ciencia del alumno) (Izquierdo y Aliberas 2004; Izquierdo y Adúriz 2003). En esta epistemología, el ‘modelo teórico escolar’ tiene una función tan importante como la que tienen los modelos científicos en las ciencias naturales siendo, con todo, diferentes. Los modelos teóricos de las ciencias articulan los conceptos, lenguajes y las maneras de trabajar de las disciplinas y se consolidan y cambian según sean los problemas que se han de resolver. En cambio, los modelos teóricos según la epistemología de la ciencia escolar han de ser diseñados para que determinados problemas tengan significado para los estudiantes para que su resolución permita articular los lenguajes y conceptos que se han de aprender.

El diseño de los Modelos Teóricos de la actividad científica para la escuela es una importante línea de investigación de la didáctica de las ciencias. Con ellos se construye el relato (abstracto) con el cual los alumnos se inician en el intento de comprender el mundo (concreto) en el que viven pero manteniendo vivas sus propias preguntas e intereses, ayudándoles a ser responsables en la intervención experimental en un ‘mundo’ que ha de proporcionar recursos para asegurar una vida digna para todas las personas.

En este artículo vamos a referirnos a los Modelos Teóricos desde esta perspectiva propia de la Didáctica de las Ciencias. En el apartado 2 hablaremos de los aspectos de los Modelos Teóricos de la Ciencia que resultan útiles para el diseño y la práctica de una ciencia escolar que construye conocimiento, genera competencia y educa. Lo haremos destacando la importancia de los Modelos propios de la ACE. En el apartado 3 nos vamos a referir a los Modelos Teóricos escolares en el proyecto curricular ‘Ciencias 12-15’. Y finalmente, en el apartado 4, veremos el alcance de todas estas propuestas.

2 En la escuela prevalece un discurso magistral sobre el cual las inquietudes y expectativas de los alumnos pueden influir muy poco.

## 2. Los modelos teóricos de las tecnociencias y de la tecnociencia escolar. El marco teórico

Las ciencias cognitivas estudian la génesis y evolución del conocimiento humano y, por lo tanto, también del científico, con un mayor énfasis ahora en la mediación de la técnica y en los valores que acompañan a la actividad humana de ‘hacer ciencia’. Podemos encontrar gracias a ellas un significado común para los Modelos Teóricos de las ciencias y para los de la ciencia escolar. Pero, si bien la actividad de ‘modelizar’ de los científicos nos inspira para diseñar la de los alumnos en las aulas, no la condiciona de manera rígida porque la finalidad de las tecnociencias es diferente de la finalidad de la Actividad Científica Escolar (ACE).

En este apartado vamos a destacar lo que caracteriza a ambas actividades y lo que hace que sean diferentes; de esta manera podremos fundamentar la función de los modelos teóricos escolares para responder, con ello, a algunos de los interrogantes que nos plantea el diseño de la ciencia escolar.

### a. Sobre el conocimiento tecnocientífico y los modelos

El filósofo español J.A. Marina se refiere con claridad a la función de los ‘modelos’ en la cognición humana: “*son un programa de acción, un conjunto de inferencias plegadas, el esquema de un comportamiento...*; permiten comportamientos asombrosos, como inventar narraciones, realizar inferencias, comprender sucesos, suplir la información’ (Marina 2005, pag. 171) Esto es lo que son también los modelos teóricos en las ciencias y en las ciencias escolares.

Para que los Modelos de las Ciencias funcionen como ‘esquemas de comportamiento’ han de ser ‘ejemplos de problemas bien resueltos’ que puedan ser imitados en la solución de nuevos problemas (Kuhn 1962). Son esquemas de acción teórica que funcionan permitiendo actividad científica con la cual se interviene en el mundo, transformándolo. Así, 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’. Así lo han hecho, con matices diferentes, muchos filósofos de la ciencia que, desde Kuhn comparten un concepto semántico de teoría científica, es decir, que se preocupan por los hechos sobre los que trata la teoría: por la relación entre el ‘mundo’ y por la representación teórica que hacen de él los científicos.

R.N. Giere (1988) desarrolla una propuesta sobre los modelos de las ciencias siguiendo este mismo enfoque y nos parece especialmente importante para nosotros, puesto que la identifica en los libros que se utilizan en la enseñanza de las ciencias. Nos interesa porque se toma en serio el conocimiento del mundo real (¡los profesores pretendemos enseñar algo sobre un mundo que existe fuera de nosotros!), pero no de manera ingenua, sino mediada por el Modelo que le es ‘similar’; y porque con ello propone un conocimiento unido a la acción experimental. Propugna un lenguaje con significado, por lo cual admite que una idea, ley o teoría pueda ‘decirse’ en lenguajes diversos; también en esto identificamos la filiación docente de su propuesta. (Fig. 1).

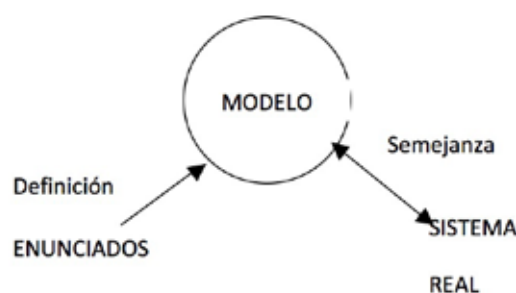


Fig. 1. Relación entre lenguajes, modelos y sistemas reales, según Giere, 1988

### Modelos como ‘hechos ideales’

En efecto, los libros de ciencias nos muestran un mundo ‘real’ según la perspectiva adecuada para poder intervenir en él, que es la de los ‘Modelos teóricos’ de las disciplinas científicas. Así, podemos decir que un Modelo Teórico es el sistema idealizado del que tratan los libros y puede funcionar como ejemplar para ‘idealizar’ otros ‘hechos’; la diversidad de fenómenos en el mundo queda así ordenada y simplificada bajo el paraguas de las ‘grandes ideas’ del Modelo.

Así, el mundo en el que trabajan los científicos es el de los modelos teóricos y es real, pero desde la perspectiva del Modelo y de sus hipótesis teóricas (HT), que establecen cómo es la relación entre el ‘Modelo’ o hecho ejemplar, ideal (HE) y otros ‘hechos del mundo’ que se le parecen más o menos (Giere 1999). No se trata de una relación de ‘verdad’ o ‘falsedad’ sino de semejanza en mayor o menor grado. Estas hipótesis teóricas permiten contrastar las previsiones que se pueden hacer desde el modelo con los resultados de la experimentación y, de esta manera, hacer que se ajusten unos a otros los diferentes aspectos

del modelo y los fenómenos. Nuevos fenómenos deberán ser contrastados con los que ya se conocen para ver si pueden integrarse, o no, en un mismo ‘modelo’. (Fig.2).

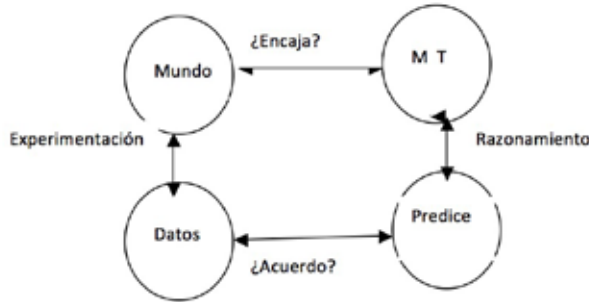


Fig.2. Proceso de modelización

Giere (1988), propone el péndulo como ejemplo de Modelo teórico tal como lo muestran de los libros, como algo que es ‘semejante’ a muchos otros cuerpos que ‘pendulan’; su comportamiento ‘ideal’ muestra cómo se aplican en este caso las leyes generales de la mecánica de Newton. Está claro también que no sirve para explicar lo que sucede cuando se produce una descarga eléctrica. Necesitaríamos un nuevo ‘modelo teórico’ –un nuevo ‘hecho ejemplar’ – para poner en evidencia la naturaleza eléctrica de la materia y las leyes que se derivan de ella.

Es mucho más económico el conocimiento presentado según Modelos teóricos que si lo presentáramos fenómeno a fenómeno. Por esto los modelos resultan tan útiles en la enseñanza y seguramente el conocimiento humano se estructura así por la voluntad de compartir conocimientos y de enseñarlos que forma parte de la actividad científica. Se comprende así la importancia de los modelos y de la modelización en la investigación en Didáctica de las Ciencias (DC) en los últimos años y en las publicaciones especializadas (Erduran y Duschl 2004; Justi 2006; Adúriz e Izquierdo 2009; Adúriz 2013), desde las aportaciones pioneras de Martinand (1986) y otros didactólogos en Francia.

Como que los Modelos Teóricos proceden de la intervención razonada en los fenómenos (deben mantener una referencia razonable con la experimentación) se aplican a ‘sistemas’ que corresponden a una misma manera de experimentar mediante unos mismos instrumentos que dar lugar a unas mismas magnitudes. Este matiz muestra la diferencia entre ‘el mundo en sí’ y lo que las ciencias experimentales dicen de él: las ciencias ‘dicen’ en función de lo que se hace y lo que se hace depende de lo que se va buscando y del sistema de valores con el cual se decide lo que se ha conseguido.

### Ciencias y actividad humana

El ‘conocimiento científico’ ya no se presenta como ‘verdad definitiva’ sobre el mundo sino como una invitación a ‘diseñar’ acciones, proyectos, aventuras con la que ‘conocer’...; es el resultado de un diseño, condicionado por la finalidad que se persigue. Como que las explicaciones tecnocientíficas responden a demandas sociales, su validez no depende sólo de las ciencias. Podemos considerar que la (tecno)ciencia introduce un cierto relativismo en la ciencia, al insinuar que lo que se conoce del mundo depende de cómo se utilicen los instrumentos con los cuales se interviene y de cómo se evalúen los resultados. Ésta es una característica de nuestro tiempo, ciertamente, pero que no hace que el conocimiento sea arbitrario. Simplemente, la racionalidad científica se nos muestra ‘moderada’ y, como contrapartida, destaca la capacidad de decidir, que es la principal característica de la persona humana.

La verdad científica es ahora mucho más humilde, tal como corresponde al carácter tentativo del saber y es más compatible con la posibilidad de una ciencia escolar competencial y ‘para todos’.

Los ‘Modelos Teóricos’ de las ciencias pueden (y deben) ir integrando todos estos factores ‘humanos’, sin dejar los epistémicos: la reconstrucción lógica de los fenómenos (gracias a los instrumentos que transforman y miden) va a la par con el ‘relato’ que da sentido a la tarea.

### Como resumen

Reconocer que el conocimiento es contextual y vinculado a la actividad humana real, además de permitir imaginar un mundo ordenado y más o menos predecible gracias a los Modelos Teóricos, nos obliga a pensar la ciencia escolar teniendo en cuenta sus propias finalidades y las capacidades de sus agentes, los alumnos. Esto no significa que las ciencias de la escuela deban proporcionar una imagen del mundo fantástica y sin rigor, sino que reconoce la vinculación estrecha entre preguntas (que han de tener sentido para los alumnos) y respuestas (que están ya determinadas en parte) y su compromiso con los instrumentos y valores que condicionan la ACE.

Los Modelos Teóricos de las ciencias nos aportan economía de pensamiento, acción y lenguaje. Con ello, determinan ‘dominios’ en los cuales funcionan pero no solucionan el problema de cómo integrar los conocimientos de ciencias en la enseñanza básica. Tampoco solucionan el problema de la motivación de los estudiantes, puesto cuanto más énfasis se hace en la actividad inteligente de las personas, más difícil se hace implicar a los alumnos en

una actividad que está muy alejada de su contexto. Por ello, los Modelos teóricos que funcionan en la enseñanza básica no han de ser iguales a los Modelos teóricos de los científicos, a pesar de inspirarse en ellos.

## b. Sobre la tecnociencia escolar y sus modelos teóricos

El diseño de los Modelos Teóricos de las tecnociencias escolares que sean económicos, abstractos, razonables y motivadores (como lo son los de los científicos), es una de las tareas que corresponden a la investigación en DC.

Al reconocer la contribución de las intenciones y emociones a la construcción de significados se puede comprender por qué los alumnos pasan con dificultad de la ‘ciencia en el papel’ (los conceptos y las fórmulas de las ciencias) a los experimentos y fenómenos: los alumnos no se emocionan con las fórmulas. Los Modelos Teóricos de las disciplinas no sirven y deben ‘reconstruirse’ como ‘esquemas de acción genuina’ para que puedan cumplir la función docente que les es propia: estructurar los conocimientos en función de la intervención experimental y economizar las ideas al establecer ‘familias de modelos’; generar discurso y ‘signos’ con los cuales representar los resultados (cuantitativos y cualitativos) de los experimentos. Y, teniendo en cuenta que el conocimiento tecnocientífico es un ‘diseño para comprender y actuar’, hemos de enseñar a los alumnos a diseñar su conocimiento, tomando así conciencia de que lo que aprenden les ha de resultar útil.

### **Economizar las ideas al conectar las acciones, el pensamiento, el lenguaje**

Mediante estos ‘modelos reconstruidos’ a los que llamamos ‘modelos teóricos escolares’ intentamos presentar los conceptos abstractos, centrales y aglutinadores de las disciplinas como propuestas activas y no como palabras que hay que recordar. Serán, para los alumnos, ‘esquemas’ que les permitan actuar de manera ‘moderadamente racional’ a la manera de los científicos: pensando, experimentando, comunicando, en el marco teórico de las disciplinas científicas, para obtener una respuesta a una pregunta. Requieren acción: la modelización como proceso de aprendizaje va a ser lo más importante para a ciencia escolar.

Los escollos que debemos superar son muchos, puesto que el mundo se nos presenta ‘parcelado’, ya que nuestra intervención en él también lo es: no hay una sola manera de trabajar que sirva para todos los problemas (Cartwright 1999, citado por Sensevy *et al.* 2008). Pero los Modelos Teóricos Escolares nos permiten unificar lo más posible el conocimiento porque nos ayudan a identificar similitudes entre los fenómenos atendiendo a las diferentes disciplinas pero buscando, a la vez, conexiones entre ellas.

Hace ya mucho tiempo, Guidoni (1985) se refería a que pensar, hacer y comunicar son tres dimensiones del aparato cognitivo humano irreducibles una a la otra pero que las personas integran cuando generan ‘discurso’ que conduce a un conocimiento genuino. Nos parece que podemos transformar esta aportación en una recomendación docente: debemos impulsar e identificar las esperadas interacciones entre estas dimensiones de la cognición. Es especialmente útil porque no es difícil relacionarlas con una acción (cognitiva) sobre los elementos propios de los MT: los grupos de fenómenos en los cuales se interviene según unas mismas ‘reglas’ (hacer) y que se explican de la misma manera (comunicar), que se representan por un Hecho Ejemplar (HE) con el que se relacionan mediante hipótesis teóricas (pensar).

Así pues, la estructuración de los conocimientos y la economía de las ideas que es propia de los modelos (que podemos imaginar como HE) se consigue mediante esta actividad cognitiva tridimensional que requiere ‘discurso’ (argumentación) y, en primer lugar, preguntas genuinas que tiren de los alumnos y les animen a actuar, a generar nuevos conocimientos.

### **Generar discurso para unificar**

Para que un conjunto de fenómenos en los cuales se interviene de la misma manera, con unos mismos instrumentos, puedan ‘verse’ todos a la vez, representados por un mismo Hecho Ejemplar idealizado (HE), que los interpreta/ explica a todos de la misma manera es necesario establecer las ‘reglas de actuación’ o leyes a las cuales la intervención se ajusta y que constituyen las ‘hipótesis teóricas’ de la ciencia escolar. Ellas permiten que los datos cuantitativos que se obtienen mediante instrumentos puedan reconstruirse de manera lógica para identificar magnitudes y relaciones entre ellas, gracias a las cuales aparecen procesos, leyes y estructuras y que sin esta mediación (¡del pensamiento matemático!) no podríamos imaginar. Y con ello se pueden tender puentes entre los hechos, transformados en ideas prácticas; aparecen así unas cuantas ‘grandes ideas’ de las ciencias escolares que serán unificadoras (porque van a ser pocas) y que ocuparán el lugar de las teorías científicas en la ciencia escolar.

Una de las tareas de la actividad científica es encontrar ideas- puente que establezcan pasarelas entre modelos diferentes, creando así nuevas entidades científicas, más abstractas, más compactas, representadas por conceptos que permiten explicar fenómenos muy complejos de manera aparentemente sencilla. Esto ocurre cuando un mismo fenómeno puede explicarse desde diferentes modelos, con la cual podría transformarse en dos HE diferentes. Fourez (1998) propone, en estos casos, la construcción de ‘islotos de racionalidad’ para identificar explica-

ciones que no son contradictorias y que se enriquecen una a la otra y dejar de lado otras que son demasiado especializadas; es necesario que haya negociación y renuncia. Por ejemplo, un organismo vivo puede ser tanto un sistema biológico como un sistema físico o químico; según como se considere, van a destacarse unos aspectos u otros de su manera de funcionar, las explicaciones que se proporcionen de este mismo organismo van a ser diferentes, porque corresponden a una mediación experimental diferente. Veremos un ejemplo en el apartado 3.

En la escuela se ha de llevar a cabo la hazaña de pasar, en poco tiempo, de fenómenos dispersos a teorías que permiten razonar, elaborar explicaciones, prever nuevos fenómenos, diseñar nuevos instrumentos, plantear nuevas preguntas que van a ser evaluadas en su contexto. Para ello las nuevas ideas que unifican los experimentos, (estableciendo un puente entre lo concreto y lo abstracto) y las estructuras conceptuales que ordenan estas ideas han de dar lugar a nuevos ‘signos’ que las consoliden.

Con ello, es razonable proponer que una de las funciones de los modelos teóricos escolares sea estructurar el currículo.

Es el momento de proponer algún ejemplo que permita concretar algo más lo que se ha ido diciendo hasta aquí sobre los modelos teóricos de las tecnociencias escolares, inspirados en los MT según Giere pero con sus propias características.

### **Algunos ejemplos. Los modelos como ‘sistemas’**

Esta reflexión se centra en la ciencia que se enseña en las escuelas, y por ello conviene mostrar como ‘se ven’ los modelos en el currículo.

En primer lugar, es importante dar un nombre a los modelos que se hayan escogido para construir el relato que de sentido a la manera que se van a ir desarrollando. Por ejemplo, los alumnos deben aprender qué es la Luz. Como que lo han de hacer de manera práctica, deberán manejarla según el Modelo ‘Rayo de Luz’, por ejemplo, con el cual podrán explicar cómo se forman las imágenes en las lentes: en el telescopio, en el microscopio. Para otro tipo de fenómeno luminoso (las interferencias, por ejemplo) necesitarán el modelo ‘ondas de luz’, con el cual podrán abordar ‘la transmisión de energía’. Pero en ambos casos deben darse cuenta de que ‘hay luz’ en el universo, una luz que nadie enciende de día y apaga de noche. Esta ‘gran idea’ ‘Luz’, que forma parte de nuestra cultura, se irá concretando, sin olvidarla, a través de los modelos ‘rayos’, ‘ondas’, o ‘fotones’ que corresponden a diferentes ‘maneras de actuar’ y a sus leyes propias; como todas las ‘grandes ideas’, es ‘económica’ porque gracias a ella

los diferentes modelos (rayo, onda, fotón) se coordinan y pueden llegar a subsumirse los unos en los otros enriqueciendo la idea teórica Luz. Se establece así una secuencia de modelos (a los que damos el nombre más revelador y atractivo posible) según una gran Idea que ha de ser uno de los ejes estructurantes de la ciencia escolar.

¿Es un modelo la Energía? ¿Hay un modelo que pueda denominarse ‘Material’? La dificultad, en estos casos, es encontrar el Hecho Ejemplar (HE), puesto que todo fenómeno, en ciencias, trata de ‘materiales’ y ‘energía’. Por lo tanto, no se van a considerar un MT; son ideas demasiado generales, las cuales, como pasa con la Luz, han de tenerse en cuenta como ‘gran idea de las ciencias’ pero que toman sentido práctico (que es lo que se pretende) en modelos más concretos. Por ello, por ejemplo, optaremos por ‘Modelo Mecánico’, ‘Modelo s-l-g de partículas’ y ‘Modelo Cambio Químico’ (Izquierdo, 2013), en lugar de un Modelo genérico de ‘Material’. Cuando los tres modelos se comprendan bien, se puede generar esta gran idea ‘Material’, que es más abstracta pero tiene suficiente base experimental; entonces, no antes, se puede entender que los átomos de los elementos son diferentes a las moléculas de los gases o del agua e incluirlos a ambos, quizás, en un mismo ‘modelo de partículas’.

Una breve reflexión sobre el nombre ‘Modelo s-l-g de partículas’: lo llamamos así (y no sólo ‘modelo de partículas’) porque consideramos que pensar el mundo desde la perspectiva de los tres estados de agregación es ya una gran abstracción que no queremos que quede oscurecida pensando únicamente en unas misteriosas partículas<sup>3</sup>.

Podríamos pensar que la electricidad puede considerarse una versión ampliada del Modelo de Partículas, puesto que ahora se introducen los ‘electrones’ como partículas; sin embargo, como que la electricidad requiere trabajar de una manera muy específica, diferente al cambio de estado de los materiales s-l-g, va a ser un modelo nuevo (o quizás una gran idea, generadora de una familia de modelos, si se le puede dedicar un tiempo suficiente).

A medida que los alumnos los aprenden y desarrollan las hipótesis teóricas (HT), los modelos escolares van caracterizando ‘sistemas’, en los cuales siempre interactúan ‘elementos’ según determinadas reglas o leyes y se producen ‘cambios’; ahora bien, lo que son estos ‘elementos del sistema’, las interacciones que se producen entre ellos, cómo medir la interacción e interpretar el cambio que resulta de ella es diferente según sea el sistema e irreducible, en la iniciación a la práctica científica a la que nos estamos refi-

3 Es interesante tener en cuenta ‘Mesoscopic Model of Liquids’ que propone Besson *et al.* (2003).

riendo. Pensemos, como ejemplo, en la interacción entre cargas, entre ‘masas’, entre células, entre sustancias, entre placas continentales, ...y en la manera de medirlas y de referirnos a ellas mediante conceptos específicos.

### Diseñar el propio conocimiento

Los Modelos Teóricos Escolares han de ser un esquema para la acción genuina de los estudiantes (en sus tres dimensiones de hacer, pensar y comunicar) y para ello la clase ha de asegurar un cierto espacio de libertad en el cual puedan desarrollar su criterio, a pesar del ambiente magistral que es propio de las escuelas, para conseguir que perciban la utilidad de este conocimiento y que se lo diseñen de manera que puedan apropiárselo. Siguiendo a Perkins (1989) para ello es necesario que le den un objetivo, perciban la estructura de este conocimiento (el Modelo) y reconozcan sus ejemplos y sepan argumentar, respondiendo las preguntas que ellos mismos se formulen (apropiándose las preguntas que se hacen en clase). Pero para que esto sea posible es necesario que las preguntas del profesorado llamen la atención de cada uno de los alumnos y les guíen hacia la consolidación de su incipiente interés mediante las tareas concretas propias de la experimentación, la búsqueda de nuevas informaciones, el uso creativo del lenguaje...

Este aspecto, que puede parecer marginal en una reflexión sobre los modelos teóricos, es sin embargo crucial, porque propone una solución a la falta de implicación del alumnado en la ciencia disciplinar. Creemos que si conseguimos este compromiso por el propio aprendizaje, los alumnos se verán recompensados por la percepción de la simplicidad de los Modelos frente a la dispersión de los fenómenos del mundo y por su recién adquirida capacidad de explicarlos y de relacionarlos.

### ¿Qué podemos decir de los Modelos teóricos de las (tecno)ciencias escolares?

Como consecuencia de esta reflexión, podemos avanzar algunas ideas sobre los Modelos Teóricos que vertebran las tecnociencias escolares (ESO)

- Son ‘Modelos’ de ‘actividad científica’ y por ello han de ayudar a actuar, a hacer experimentos, a intervenir en los fenómenos; han de adaptarse a ‘lo nuevo’ que el alumnado ha de aprender.
- Su aprendizaje se inicia y se desarrolla mediante preguntas genuinas que orientan a los alumnos para que puedan diseñar su conocimiento escolar.
- Corresponden a maneras de actuar específicas de cada uno de ellos, a ‘reglas’ que hacen posible el uso de instrumentos especializados.

- A cada Modelo le corresponden ‘hechos ejemplares’ o ‘paradigmáticos’ (HE), idealizados, que son ‘similares’ a muchos otros fenómenos porque se interviene en ellos de la misma manera, según las mismas leyes o reglas.
- Son ‘económicos’, es decir, cuantos más conceptos y fenómenos agrupen, mejor.
- Son ‘irreducibles’: sus ‘hechos ejemplares’ (HE) no se interpretan con ningún otro modelo.
- Utilizan términos especializados, que se han conocer, estableciendo las relaciones adecuadas con los instrumentos y los datos que éstos proporcionan.
- Se agrupan o diversifican según relaciones de similitud y dan lugar a ‘teorías’ que toman sentido gracias a los ‘hechos ejemplares’ (HE) y a las HT de los modelos

### c. Identificando las diferencias entre ‘modelos teóricos de las tecnociencias’ y ‘modelos teóricos de las tecnociencias escolares’ en la docencia ‘para todos’

Damos por supuesto de que tanto los científicos como nuestros alumnos de ciencias básicas generan conocimiento pensando, haciendo y comunicando; y que utilizan ‘esquemas’ como pauta o programa de acción para estructurar su actividad cuando les interesa realmente lo que hacen, porque tiene un objetivo. La diferencia crucial es que nuestros alumnos han de aprender unos modelos a la vez que descubren cómo éstos se adaptan al mundo en el que ellos viven, pero que no conocen desde esta nueva perspectiva; al contrario, los científicos los necesitan para su trabajo y ya los conocen, trabajan con las mismas HT y de ellos se derivan sus preguntas, sus técnicas de intervención y sus lenguajes (Fig. 3).

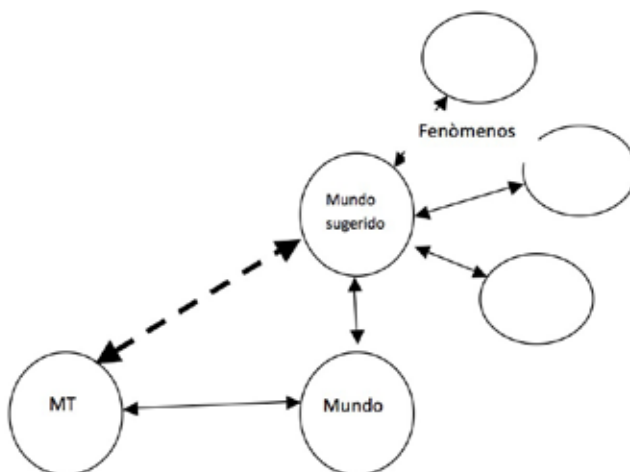


Fig.3. Proceso de modelización escolar



Comparemos las figs 2 y 3. En la actividad científica (fig 2), que se lleva a cabo en el marco de una institución científica, disciplinar, los modelos ‘ya se tienen’: sugieren preguntas que llegan a ser investigables, ordenan las intervenciones experimentales, generan leyes y conceptos e inventan lenguajes. Sus ‘hipótesis teóricas’ van haciendo que encajen (o no) nuevos fenómenos del mundo; los modelos y sus hechos paradigmáticos se agrupan o desagrupan, las teorías evolucionan...<sup>4</sup> En cambio, en la actividad científica escolar (fig. 3) los modelos disciplinares han de incrustarse en la mente de los alumnos para, con ello, transformar su visión del mundo para ordenarlo desde el punto de vista de la actividad inteligente que pueden desarrollar al conocerlo mejor, gracias a las buenas preguntas de los profesores. El orden de actuación es diferente: lo primero es conocer un conjunto de ‘hechos del mundo’ que sugieren determinadas relaciones sistémicas y sugieren un ‘mundo’ que no se ve pero que se puede investigar experimentalmente (mundo sugerido) y del cual se habla con un lenguaje específico (Espinete *et al.* 2012). Este mundo sugerido va a ser un ‘modelo teórico’ si consigue vertebrar otras intervenciones experimentales, sugerir nuevas preguntas, generar lenguajes, dar significado a los lenguajes científicos<sup>5</sup>.

La modelización escolar (MTE) tiene un componente teleológico que la hace diferente a la de un científico (MT) que está validando un ‘modelo’ o que trabaja ya dándolo por supuesto. Su desarrollo está estrictamente planificado por el docente y las explicaciones previstas se van dosificando: el uso prematuro de las entidades científicas abstractas comporta el riesgo de olvidar su significado práctico. Por ello, también Fourez (1998) propone, como analogía para este proceso, ‘cajas cerradas de conceptos’ que se abren y se cierran proporcionándolos según conviene; la explicación nunca es falsa, pero es parcial.

### Una consideración final

Los modelos de las tecnociencias escolares enseñan a trabajar en diferentes sistemas; en esto, son disciplinares; pero son también integradas (o lo van siendo poco a poco)

- 4 Puede ocurrir también que, a pesar de que los fenómenos encajen con la predicción teórica del Modelo, existan otros Modelos que también encajen con estos datos: esto es lo que ocurre frecuentemente con los modelos naive (previos) de los alumnos.
- 5 El lenguaje tiene una función específica en la ciencia escolar, algo diferente (o muy diferente, según como se considere) del que tiene en la creación científica, por la mayor predeterminación del lenguaje escolar y, a la vez, por el estilo de la argumentación, en la cual se admiten referencias cotidianas e imágenes que tienen sentido en la cultura juvenil y no en la científica.

porque siempre apuntan hacia una gran Idea que permite ir unificando ideas y economizar el conocimiento. A nivel práctico, la construcción de ‘islotos de racionalidad’ va atando cabos a la vez que genera nuevos lenguajes que, al ser más abstractos, son de aplicación más general siempre y cuando no olviden el mundo real que pretenden explicar.

También permiten abordar el problema de la motivación de los alumnos y sus preguntas genuinas. Así como el docente debe seleccionar los fenómenos que suscitarán el ‘Modelo’, debe formular preguntas que sean, para el alumno, una orientación de ‘cuál es el problema’ y de cómo abordarlo; a partir de este ‘empujón’ inicial los alumnos podrán formular preguntas concretas, pero genuinas, que les acompañen en su trabajo.

Vamos a dedicar el resto de este artículo a presentar la experiencia adquirida en la aplicación del proyecto ‘Ciencias 12-15’ en cuanto a la función de los modelos teóricos en la docencia y a la difícil tarea de diseñarlos; tendremos en cuenta lo que llamamos ‘procesos de doble modelización’ que actúan como ejes transversales que contribuyen a estructurar los conocimientos escolares generando ‘islotos de racionalidad’.

## Los modelos teóricos en el Proyecto ‘Ciencias 12-15’ como intento de respuesta a la pregunta ¿Es posible una ciencia escolar (integrada y motivada)?

El Departament d’Ensenyament y el Departamento de DC de la UAB firmaron en 2009 un convenio de colaboración para la enseñanza competencial de las ciencias en la ESO a lo largo de los tres cursos en los cuales las ciencias son obligatorias. El proyecto, ‘Pensament científic a l’ESO. Ciències 12-15’, consta de nueve Unidades Didácticas que se han aplicado ya a ocho centros experimentales.

Hemos tenido en cuenta el contexto ‘escuela’ (donde se enseña, se aprende, se educa) y las condiciones que nos vienen impuestas debido a ello.

- La relación entre las diferentes materias pero la especificidad de las ciencias
- La educación como persona de los alumnos, que ha de tener en cuenta las competencias básicas y por ello ha de ser ‘comprometida’.
- El ciclo de aprendizaje limitado por unos horarios que imponen su propio ciclo, a veces inoportuno.

- La recurrencia de lo que se enseña, volviendo una y otra vez a los conceptos básicos, aplicándolos a situaciones diferentes pero relevantes.

En el apartado a. comentamos el diseño estructurado alrededor de los modelos teóricos y en el apartado b. comentamos algunos detalles del proceso de modelización mediante el cual los alumnos aprenden.

### a. El diseño basado en modelos: el Proyecto 'Ciències 12-15', una investigación propia de la DC

Los 'Modelos de la Ciencia Escolar' (con un concepto semántico de 'teoría') y la 'modelización' (que se desarrolla haciendo, pensando, comunicando) vertebran el Proyecto. En consecuencia, uno de los aspectos definitorios del mismo es el énfasis en 'hechos del mundo interpretados' y no tanto en las formulaciones académicas de las disciplinas. Los títulos de las 9 Unidades Didácticas (Uds) lo reflejan: los alumnos estudian las montañas rusas o la conveniencia de reintroducir lobos en el Pirineo y no Física o Biología (ver anexo 1). Pero las montañas rusas y los lobos se habrán convertido en ejemplos de cómo aplicar las reglas que rigen en los sistemas mecánicos, en un caso, o en un ecosistema, en el otro.

Al diseñar las UD's se tienen en cuenta: 'las ideas clave' generadoras de preguntas y que orientan sobre el contenido y finalidad de las UD's; las reglas e instrumentos que guían los experimentos y generan magnitudes; los argumentos que desarrollan hipótesis teóricas e introducen nuevos lenguajes y signos, y la autoevaluación que ayuda al alumno a diseñar su propia 'ciencia escolar' y a apropiársela<sup>6</sup>.

#### Las 'ideas clave' de los Modelos

Los 'hechos del mundo' que hemos seleccionado (por ejemplo, el camino del Sol, los Mapas del Tiempo, la distribución de los volcanes, los rayos y truenos, el lobo en los Pirineos...) han de transformarse en 'hechos científicos'(HE) al experimentar utilizando las 'reglas de actuación' e instrumentos que les corresponden y al elaborar las explicaciones razonables de lo que ocurre (según sea el Modelo/ disciplina).

<sup>6</sup> Consideramos que el diseño de UD's fundamentado teóricamente forma parte de un tipo de investigación en DC que genera innovación y caracteriza a esta disciplina como 'ciencia del diseño'. (ver Buty *et al.* 2004 y otros autores en IJSC del mes de abril)

Los Modelos de la Disciplina proporcionan al profesor las preguntas genuinas que deberían tener sentido para los alumnos, para implicarlos en la actividad científica 'competencial' que se espera de ellos, para que ellos mismos se fijen en 'el problema', se pongan a trabajar y generen, con ello, sus propias preguntas. Por ejemplo, si vamos a introducir el Modelo 'Tierra que cambia', por ejemplo, contemplamos una piedra pensando en su historia a lo largo de millones de años y las preguntas que vaya formulando el profesor reclaman una respuesta en este sentido, después de haber trabajado el tema en clase. Si estamos estudiando según el Modelo Cambio Químico, será necesario pensar en el agua y su peculiar comportamiento eléctrico; si, en el mismo Modelo, conectamos con la biología, lo será la participación del 'carbón' en los procesos vitales lo que va a centrar nuestra atención.

Las preguntas nucleares como ¿De qué nos habla la Biología? ¿De qué nos habla la Química? ¿De qué nos habla la Electricidad? se mantienen implícitas; no se responden de manera definitiva sino que quedan abiertas orientando el trabajo, como ocurre en la investigación científica; pero son necesarias, para tomar conciencia de lo peculiar que es un cambio químico (esto es lo que interesa a la química en primer lugar y no elucubraciones sobre partículas invisibles como átomos y electrones) o la diversidad de seres vivos o los rayos que pueden fulminar.

En nuestra propuesta 'Ciències 12-15' el estudio de los materiales (de sus propiedades y estructura) es transversal, dando una especial relevancia al agua, al oxígeno y al carbono y sus compuestos a lo largo de los tres cursos. Lo mismo podemos decir de la energía, ligada estrechamente a todos los cambios que se consideran a lo largo de los tres cursos, que interpretamos como 'generados por diferencias', unidireccionales e irreversibles. Son necesarios, por ello, procesos de 'modelización múltiple' cuando un fenómeno genera preguntas desde más de un Modelo y es necesario generar un 'islot de racionalidad' que haga posible las explicaciones sin alterar el significado de ninguno de los Modelos que intervienen, como veremos más adelante.

Algunas 'ideas prácticas' que resumen lo que es más propio del trabajo de cada uno de los tres cursos contribuyen a la coherencia del conjunto. Por ejemplo, en las tres unidades de primero de ESO Nos Situamos en el Mundo (en un universo material que genera luz, en un planeta con agua y atmósfera, en el que se encuentra Vida que evoluciona). En las tres unidades de segundo de ESO nos interesamos por Los Cambios Generados por Diferencias (un planeta Tierra que cambia, unos artefactos mecánicos con los que se generan movimientos, un sistema ecológico en el que los cambios se regulan por la vida de unos organismos y la muerte de otros). En las tres unidades de tercero de

ESO nos damos cuenta de que Los Cambios Se Pueden Gestionar bien o mal y vemos las leyes que nos muestran cómo hacerlo (se puede domesticar el rayo, los cambios materiales pueden generar electricidad, debemos cuidar la salud, la vida).

Lo que nos parece claro es que el Modelo lo es del fenómeno, no de la explicación del fenómeno; la entidades que lo explican son las que ‘modelizan’, no las analogías que inventamos para imaginar cómo son estas entidades. Por ejemplo, lo difícil es imaginar que el agua está formada por partículas, esto es lo que ha de conseguir el Modelo ‘Líquido, sólido, gas formados por partículas’ (nombre que preferimos a ‘Modelo de Partículas’ demasiado genérico); representar estas partículas con garbanzos o con papelitos es necesario, pero no es lo importante; los garbanzos o los papelitos han de ayudar a pensar en el agua y en sus características y a intervenir en ella: disolviendo algo en ella, evaporándola; son para entender mejor las diferencias (espectaculares) entre sólidos, líquidos y gases pero teniendo en cuenta que lo consiguen sólo en parte: el modelo ‘líquido formado por partículas’, por ejemplo, debe referirse a la flotación, a la bomba hidráulica, a los vasos comunicante y no sólo a los cambio de estado<sup>7</sup>.

### **Las reglas e instrumentos que guían el experimento y generan magnitudes**

Los contenidos del currículo se desarrollan a través de las actividades experimentales que, como vimos, generan el Modelo al mismo tiempo que lo utilizan para dar sentido a los términos científicos y a lo que se hace, que también se está aprendiendo a hacer. Las UD han de asegurar que la ACE sea experimental, teórica y comunicable.

Las preguntas relacionadas con las ‘ideas clave’ de los Modelos introducen las leyes desde las cuales se deberá trabajar. Por ello (por la vinculación a un Modelo) no se proporciona una explicación ‘ad hoc’ para cada fenómeno ni tampoco se explican todos los fenómenos que siguen una misma ley de la misma manera, con generalizaciones que olviden sus peculiaridades. Por ejemplo, no vamos a inducir o descubrir la ‘ley de la conservación de la masa’ al preguntarnos sobre el Cambio Químico, sino que vamos a intervenir en los cambios químicos dando por supuesto que no hacemos magia y que ‘el conjunto pesa lo mismo antes y después de los cambios’; pero tampoco explicaremos igual

<sup>7</sup> Al ‘modelizar’ los gases o las disoluciones mediante partículas se introduce una idea de ‘espacio lleno’ y ‘espacio vacío’ que contradice la regla principal ‘los gases llenan todo el recipiente’ o ‘el soluto se reparte de manera homogénea’ ¿Será que el modelo de partículas no sirve para bajísimas presiones o disoluciones muy diluidas? Podría ser.

la combustión que un cambio químico en el que intervienen ácidos y bases... y agua, por supuesto, que es ahora fundamental. Los fenómenos de la mecánica se ‘ven’ desde la perspectiva de la aplicación de fuerzas (acción - reacción); el movimiento de la vagoneta de la montaña rusa se ve desde la ‘conservación de la energía’, pero no de la misma manera que la alimentación de los seres vivos aunque se cumple el mismo principio en ambos casos.

El proceso de construcción de los hechos ejemplares (HE) que, cómo hemos ido viendo, van a ser ‘lo visible’ del Modelo empieza con la identificación de episodios que los alumnos han vivido o conocen (una vela encendida, que se relacionará con diversos ‘fuegos’; los ‘castellers’ o castillos humanos que se levantan en las fiesta catalanas, que se relacionarán con otras ‘cosas’ que pueden caer; los alimentos que se cocinan, que se relacionarán con lo materiales que forman los seres vivos...) De estos ‘episodios’ se han de poder ‘experimentar’ algunos aspectos: características que se pueden medir, cambios que se pueden relacionar gracias a ello. Y, estas medidas y relaciones dan lugar a entidades científicas que son, a la vez, términos científicos: el átomo de la química, la molécula de los gases, las placas continentales de la geología, las ondas del sonido, el comportamiento de células de la biología, las fuerzas de la física, las cargas eléctricas y las características de los circuitos eléctricos.

### **Argumentos que desarrollan hipótesis teóricas**

Ya hemos comentado que consideramos que los Modelos Teóricos de las tecnociencias escolares son, a la vez, representación mental, acción y lenguaje. La experimentación conecta la ‘buena pregunta’ del Modelo con el ‘mundo’ y, como que el resultado es sorprendente (¡ya nos ocupamos de que sea así!) el ‘mundo’ que percibe el alumno va cambiando. Pero para que todo ello de lugar a un Modelo perdurable es necesario conectar ideas o representación mental y la experimentación (R-E), experimentación y lenguaje (E-L) e ideas y lenguaje (R-L) (teniendo en cuenta que los nuevos términos científicos han de incorporarse al discurso cotidiano: han de resultar necesarios, útiles). Sin embargo, en la conducta humana estas tres facetas no siempre conectan adecuadamente y es necesario identificar las dificultades que puedan presentarse (En Merino e Izquierdo 2011) se proporciona un ejemplo de identificación de las relaciones L-E-R) (Fig. 4).

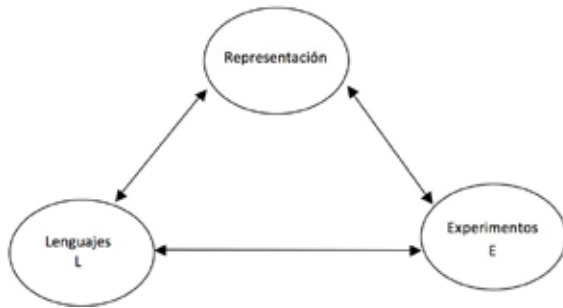


Fig. 4. Relaciones LER, que pueden relacionarse con la Fig.1 mostrando que la conexión L-E es propia de la ciencia escolar

Para diseñar esta parte discursiva del proceso de modelización debemos formular adecuadamente las hipótesis teóricas escolares o bien proporcionar el escenario para que los alumnos lo hagan; generalmente éstas no se comprueban sino que ‘explican’; forman parte de la argumentación o discurso escolar. Por ejemplo, la distribución de los volcanes y de los terremotos en la Tierra y las placas continentales no es una hipótesis para los alumnos, no se les pide que la comprueben, tiene el valor de ley que guía su actividad, encaminada a encontrar estas relaciones (sin embargo, el profesor puede hacer que este trabajo sea una indagación científica interesante y no una simple demostración). La hipótesis teórica que los alumnos deberán desarrollar argumentando será algo así como: ‘teniendo en cuenta que hubo volcanes en Cataluña algo más debía pasar en aquel momento’.

Esta parte del proceso requiere plantear y resolver ‘problemas competenciales’, en los cuáles los alumnos generan por ellos mismos explicaciones fundamentadas en los Modelos. Deberán hacerlo, además, introduciendo los nuevos lenguajes y signos que se requieren para expresar los nuevos conocimientos.

#### **El diseño del propio conocimiento y la autoevaluación**

A lo largo de las diferentes UD del proyecto, los alumnos retoman conceptos aprendidos en un contexto y los aplican, enriquecidos, a otras situaciones siguiendo el hilo de las ideas clave, de las buenas preguntas que introducen leyes, de las nuevas entidades que se van generando. Una misma idea central se va concretando y desarrollando en sucesivas aproximaciones, al ‘hacer, pensar y comunicar’ que requiere nuevos conceptos, lenguajes cada vez más abstractos al tener que incluir más fenómenos y una evaluación que tenga en cuenta la reflexión del alumno sobre el propio aprendizaje (Sanmartí 2007).

Como que el Modelo Teórico no es una maqueta, ni una idea, ni una representación abstracta, sino que es un ‘esquema’ (o programa) para conocer actuando, requiere,

como ya se ha dicho, relacionar intervención experimental, el lenguaje y la representación mental de un mismo fenómeno que ha sido transformado en un ‘ideal científico’ (HE). Es una idea-experiencia-lenguaje cuyo referente es una acción transformadora concreta que se presenta como pauta de trabajo para ‘comprender’ otros fenómenos o ‘sistemas’ similares y que permite actuar en ellos. Pero, por más que el Proyecto ‘Ciències 12-15’ tenga en cuenta la necesidad de que se produzca esta conexión, son los propios alumnos los que deberán gestionarla (Izquierdo *et al.* 2012, Izquierdo y Márquez, 2013). El resultado de esta buena gestión será un ‘conocimiento diseñado para ser utilizado’, que es bien diferente de un ‘conocimiento para aprobar’ o de un ‘conocimiento para instruirse’. Como ya hemos visto, según Perkins (1986) un conocimiento útil tiene un objetivo, modelos de referencia, buenos ejemplos y argumentación.

#### **b. La modelización, en el Proyecto Ciències 12-15**

Vamos a concretar ahora un poco más, mostrando cómo ha funcionado un proceso de doble modelización: según el Modelo ‘Cambio Químico’ en el marco del Modelo ‘Ser Vivo’. Para mostrar el proceso de modelización veremos las ideas clave de los dos modelos, la propuesta de ‘hecho ejemplar’ y la experimentación, la argumentación y desarrollo de las ideas que permiten seguir el proceso de modelización y evaluarlo.

La Biología se interesa por los ‘sistemas vivos’ (organismos y poblaciones que interactúan y cambian), la Química, por los sistemas químicos (sustancias formadas por elementos, que interactúan y cambian). Es fácil ver que hay una intersección entre estas dos miradas: la vida requiere una transformación química de algunos materiales; pero no se puede reducir la vida a un cambio químico. En los currículos oficiales, los seres vivos se estudian antes del cambio químico, pero nosotros creemos que no se pueden comprender bien los procesos de la vida sin una referencia a su sustrato material.<sup>8</sup>

#### **Las preguntas y respuestas que son el núcleo de los Modelos Teóricos**

En nuestro Proyecto, el estudio de la Vida se desarrolla en tres UD a lo largo de los tres primeros cursos de la ESO. El ‘Modelo Ser Vivo’ se introduce en la UD ‘La Vida, igual

8 Ni la Biología ni la Química son ya, en el momento actual, ‘historia natural’: no se limitan a describir a los seres vivos ni a los materiales que reaccionan sino que buscan comprender y justificar las interacciones y los cambios; y para ello esta ‘doble mirada’ es imprescindible.

però diferent', la tercera y última en el primer curso de la ESO. En este curso ya se ha contemplado, en la UD1, el cielo nocturno (modelo 'rayo de luz'), se ha estudiado el Sol y el movimiento de rotación de la Tierra en el sistema planetario y se han estudiado materiales sólidos, líquidos y gases (modelo de partículas enlazadas). Se ha tenido en cuenta, en la UD2, el impacto del calor del Sol en el planeta Tierra, que tiene agua y atmósfera (clima, tiempo atmosférico, ciclo del agua), las estaciones del año y los alumnos han interpretado los mapas del tiempo.

En el diseño de la UD3, partiendo de estos conocimientos, participaron dos conjuntos de preguntas, ambas nuevas para el alumnado. La principal es ¿Está vivo? y las respuestas irán asociadas a la identificación de la manera de funcionar propia de lo vivo. Esta pregunta lleva asociada otra ¿De qué está hecho?, con la que pretendemos llamar la atención sobre la textura peculiar del material vivo: más delicado que una piedra o un metal, no tan fluido como un líquido ni tan evanescente como un gas, diferente a los materiales que han visto hasta ahora.

La UD3 se inicia haciendo ver que el planeta Tierra es el único que tiene, a la vez, agua y vida; comparte con otros su dependencia del Sol. La vida se relaciona con el agua; con ello, el interés por el sustrato material de la vida se plantea de manera explícita desde el principio, así como la importancia del agua, a la cual nos referimos en casi todas las UD. La lechuga es uno de los ejemplos escogidos<sup>9</sup> a los que aplicaremos estas dos preguntas para que un ser vivo llegue a ser, a la vez, un sistema biológico y un sistema químico.

### **El Hecho Ejemplar (HE), un hecho del mundo que se ha idealizado**

La primera pregunta presupone una respuesta que se irá desarrollando y que es ya el germen del Modelo Ser Vivo: el ser vivo (la lechuga lo es) es algo (un sistema) que funciona de manera peculiar, autónoma, reproductora, que nace, crece y muere, formado por células que son visibles y medibles mediante el microscopio, configura 'poblaciones' que interactúan con el medio y que evolucionan. Como que puede morir, un ser vivo debe cuidarse, necesita de un entorno adecuado.

La segunda pregunta (sin olvidar la primera) presupone una intervención diferente, destructora. Manipulamos el material no para que se mantenga vivo o para pensar

por qué está vivo, sino para aprender más sobre el propio material. Estrujaremos la lechuga para sacarle el agua, la calentaremos hasta carbonizarla. Configuramos una primera aproximación al Modelo Cambio Químico: las sustancias iniciales desaparecen (en este caso, al calentar la lechuga), otras aparecen y se conservan los elementos-átomos, que son irreductibles unos a otros.

La actividad se introduce por la pregunta: ¿Cómo es el material de que está hecha la lechuga? La pregunta orienta la actividad hacia la manipulación química, que consiste en estrujar una hoja de lechuga, con lo que se obtiene un líquido verde del cual, evaporando y volviendo a condensar, obtenemos agua. Todas estas acciones son propias de la química pero también son cotidianas y por ello se espera que tengan sentido para los alumnos; por ello los resultados que se obtengan pueden suscitar las preguntas genuinas que vamos buscando para que la modelización funcione. El residuo sólido se calienta hasta que se transforma en un polvo negro, que puede llegar a arder. Se llega a la conclusión de que el líquido es agua y que el material negro es carbón. La pregunta nueva, teniendo en cuenta la ley de conservación (¡la química no hace magia!) es ¿Dónde / cómo estaban antes estos materiales en la hoja de lechuga? Se ha de justificar que el agua estaba ya en la lechuga, pero el carbón no; pero sí lo estaba el 'elemento C', puesto que el carbón que 'aparece' es una sustancia simple. La nueva pregunta es ¿Qué cantidad de agua y de carbón? Se repite la actividad, pero pesando el material antes y después de la intervención; el resultado se expresa en porcentaje: por gramo de lechuga hay mucha agua, menos carbón. Como que se da por supuesto que la masa se conserva, si el carbón y el agua pesan menos que la lechuga inicial, es que otros materiales se han 'escapado'.

### **Las hipótesis y la argumentación**

Los alumnos han de imaginar la procedencia y la función de los componentes de la lechuga sabiendo que ésta es un 'ser vivo' y está formada por células; y que los materiales están formados por partículas y se comportan de manera diferente si son sólidos, líquidos o gases. Esta actividad deberá cambiar su 'modelo de material' al constatar que sufre un cambio químico; al mismo tiempo, el modelo 'ser vivo' se enriquece con la reflexión sobre los materiales que lo forman, que permitirá formular nuevas preguntas sobre la nutrición y los alimentos que darán lugar a respuestas que permiten establecer nuevas relaciones.

Tal como ya indicamos, las hipótesis son propias de la etapa de argumentación y modelización escolar. Se da por supuesto que la lechuga se comporta como otros seres vivos (vegetales) y que los materiales forman parte de las células. Las hipótesis sobre las que se argumentará son:

<sup>9</sup> Los fósiles (transformación de orgánico a mineral que nos permite tener testimonios del pasado y, con ello, de la evolución) y Quien come a quien (nos comemos unos a otros, las piedras no alimentan; con esto, las poblaciones se regulan) son otros ejemplos que se desarrollan mediante una doble modelización.

¿será agua, esto que obtenemos? ¿Será carbón? ¿Cómo incorporar estas observaciones a lo que ya sabemos de los seres vivos? ¿Cómo incorporar estas observaciones a lo que ya sabemos de los materiales?

A diferencia de lo que ocurre con la modelización de los científicos, ahora se ha de aprender, a la vez, a experimentar, a pensar y a comunicar según el esquema que proporciona el Modelo (ver, de nuevo, la figura 3). Para establecer las similitudes entre ‘el mundo sugerido’ y los hechos sobre los cuales actuamos se han de establecer relaciones L-E-R entre experimentar-pensar, pensar-comunicar, comunicar-experimentar (cada una de ella en doble sentido, según el esquema de Guidoni (1985), fig. 3) Finalmente, el alumnado deberá ser capaz de actuar, pensar y comunicar con una coherencia y rigor que podremos evaluar.

**La relación entre los experimento y la representación mental (L-R)**

Los experimentos que se llevan a cabo constan de acciones que el alumnado sabe hacer; se trata de que ahora las hagan con un nuevo objetivo. Lo que hace y cómo se representa los cambios que se producen (su modelo mental) interaccionan transformando su mundo (Gutiérrez 2004; Aliberas 2012). Por ejemplo: la lechuga ya no es considerada un objeto: se piensa en ella como un conjunto de materiales (una mezcla) y, a la vez, como algo formado por células. La aparición de líquido al estrujar remite a ‘agua que estaba en las células’ pero no ‘agua pura’ sino una disolución que se puede destilar (con lo cual amplía su modelo de partículas). ‘Calentar’ se asocia a ‘matar las células’. Los materiales de los seres vivos son ‘delicados’, se ‘destruyen’ a temperatura elevada...pero la ‘masa de los elementos se conserva’. Por lo tanto, el carbón que aparece estaba antes en la lechuga.

El indicador será la calidad de las preguntas que el alumno introduzca en su argumentación y las sugerencias creativas al referirse al trabajo práctico.

**La relación entre la representación mental y el lenguaje (R-L)**

Las relaciones R-E suscitan la necesidad de nuevas palabras para referir lo que ha pasado desde la perspectiva abstracta de ‘lo vivo’ y ‘lo material’. Pero estas palabras ya han sido inventadas y los alumnos han oído hablar de ellas (y probablemente ya les han dado un significado más o menos acertado)<sup>10</sup>. Son: elemento, sustancia simple,

átomo. ‘Átomo’ va a ser ‘lo que se conserva’, que es a la vez ‘elemento’. El carbón será ‘sustancia simple’ y, por contraste, formaba parte de las ‘sustancias compuestas’ que formaban las células.

El indicador será la presencia de términos científicos en el texto o dibujo con los que se explique o se argumente de manera significativa (para el alumnos) lo que ha pasado.

**Relación entre el lenguaje y los experimentos (L-E)**

Los alumnos deben desarrollar una manera propia de comunicar lo que hacen y, para ello, el trabajo en grupo y la interacción con el profesor/a es especialmente importante y enriquecedora. La investigación de Moraga (2013) en dos grupo de alumnos muestra que explicaron mejor lo que ha pasado al calentar la lechuga dibujando que escribiendo; en los dibujos con los de los alumnos el ‘proceso en si’ adquiere una especial relevancia.

El indicador será la presencia de factores técnicos o referencia a los instrumentos que se utilizan, o incluso al proceso que se llevó a cabo

El dibujo con el que un estudiante comunicó lo que había sucedido (Fig. 5) nos parece que pone de manifiesto una relación L-E-R bastante correcta , adecuada al proceso docente que tuvo lugar.

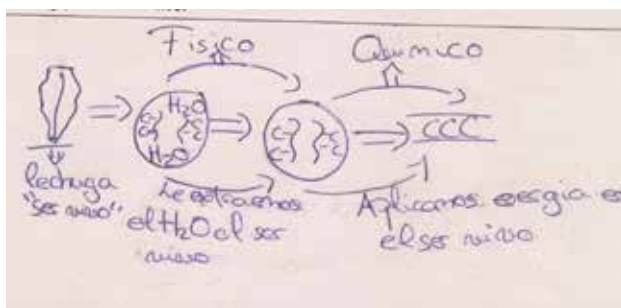


Fig. 5 Dibujo de un alumno para responder la pregunta ¿De qué está hecha la lechuga?

10 Debido a la importancia que tiene el lenguaje científico, sus palabras propias se imponen sin que tengan sentido, con lo cual impregnan al experimento de ideas falsas vehiculadas por palabras científicas.

## Como resumen

Una cosa es diseñar un proceso de modelización y otra diferente es llevarlo a cabo con éxito. Debemos estar dispuestos a que los modelos interiorizados por los alumnos no sean uniformes, ya que han de construir un conocimiento diseñado por ellos para serles ‘útil’ en su propia vida.

Nuestros ‘modelos tecnocientíficos escolares’ son ‘modelos de actividad científica’ impulsada por ‘personas’ que saben lo que quieren hacer y cuando lo hacen bien o lo hacen mal. Para que puedan cumplir esta función la evaluación ha de ser compartida, entre profesores y alumnos, estableciendo así una comunidad científica escolar.

Las ciencias proporcionan a la inteligencia creadora un andamiaje que la sostiene, le muestran las limitaciones que el ‘mundo natural’ (o, lo que es lo mismo, las posibilidades de transformación que se le ofrece) pero que no proporciona sentido a la vida de cada cual. La educación ha de ayudar a encontrar este significado y las ciencias, también, animando a los alumnos a vivir esta aventura y a disfrutar con ella, sin ahorrarse las dificultades que conlleva.

## 4. Consideración final

Nos resulta más fácil aplicar nuestro concepto de Modelo en clase que escribir sobre ello, probablemente debido a la importancia y centralidad del tema. En efecto, tiene relación con muchos conceptos clave en didáctica: organizador de los conceptos, epítome, esquema mental, argumento de libro... Además, hablar de Modelo y modelización identifica ahora una determinada manera de trabajar, refleja una determinada concepción de lo que es la educación científica que no se puede explicar en unas pocas páginas.

Hemos concretado una propuesta de ACE semiintegrada y semigenuina y la vemos viable, gracias a su articulación mediante Modelos Teóricos. La Actividad Científica Escolar va a culminar cuando los alumnos puedan asociar las ideas científicas a las palabras con las cuales las comunican y a las acciones a las cuales se refieren y, con ello, tomar decisiones y adquirir criterio.

Nos parece que hay un espacio para las preguntas genuinas de los alumnos y que hemos respetado las disciplinas y que también hemos conseguido un ‘relato’ de conjunto de las ciencias de los tres primeros cursos de la ESO.

*Haciendo balance de nuestra manera de relacionar los Modelos Teóricos’ y a ACE nos aparecen algunas ideas*

- La propuesta inicial de fundamentación epistemológica de la ciencia escolar (Izquierdo y Adúriz, 2003), en la cual los modelos teóricos aparecían ya como eje de la ciencia escolar se ha enriquecido ahora con consideraciones relativas al impacto del giro axiológico de la filosofía de la ciencia, que tiene en cuenta la importancia del contexto y de la evaluación, con lo cual cobra importancia el sistema de valores en el cual se desarrolla y se evalúa la ciencia escolar. El ‘modelo teórico’ es ahora, de manera más clara y evidente, un modelo de actividad científica para las ciencias escolares y también para las tecnociencias
- Nos damos cuenta de que, para nosotros, el modelo no es algo sólo mental, ni lingüístico, ni tampoco es una maqueta, ni una mera manipulación de algo; es una posibilidad de acción que se presenta idealizada en un mundo ideal (recreado) pero no arbitrario porque cumple determinadas leyes. Y que genera lenguajes específicos para hablar de esta recreación del mundo de la inteligencia humana gracias a la cual la intervención en el mundo material se transforma en cultura.
- Nos parece importante haber diseñado y aplicado un currículo completo para las ciencias (tecnociencias escolares) en la etapa secundaria obligatoria en el cual los Modelos Teóricos articulan los conocimientos teórico-prácticos que se proponen al alumnado. Hemos visto las diferentes funciones que adquieren en ella los modelos teóricos de las tecnociencias escolares: hilo conductor (conceptual), eje estructurante, vector de desarrollo del ‘saber hacer’ concreción de conceptos abstractos en un fenómeno fácil de recordar, comprensión del lenguaje científico (sabiendo de qué habla: de matemática). La principal es la de ‘eje estructurante’ de la actividad cognitiva que coloniza’ el mundo natural y lo transforma en ‘científico’ a partir de la ‘mirada’ propia de las disciplinas, que ‘ven’ en el mundo diversos sistemas que funcionan con reglas específicas. Los hechos ejemplares que se construyen a partir de esta reglas funcionan a su vez como puntos de partida para continuar ‘colonizando’: nuevos hechos que van a formar parte, o no, de un mismo modelo y van a recibir una explicación similar; tanto un caso como el otro los hechos quedan colonizados y son relevantes para la ciencia escolar.

- Los alumnos construyen su propia ciencia a partir de esta propuesta. Algunos, no todos, consiguen ‘desituar’ el conocimiento práctico y hacerlo y, a la vez, vivencial; son los que ejercen un ‘pensamiento matemático’. Y éste es el problema, puesto que no estamos aún seguros de lo poderían llegar a hacer si la evaluación atendiera a su actividad científica y no a que el resultado de la misma sea el de los libros.
- Finalmente, constatamos que la doble modelización Bio-Quim ha sido relativamente fácil, porque en el momento actual ya se ha producido un giro bioquímico que se ocupa de interpretar los procesos celulares mediante la química; el problema es que esto se hace sin tener en cuenta a la química. Esto facilita la integración de estas dos disciplinas en la ESO.

Pero aún son muchos los problemas que se apuntan y quedan sin respuesta.

## Bibliografía

- 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*, 1, 40- 49.
- Adúriz, A. (2013). A Semantic View of scientific models for science education. *Science & Education*, 22, 1593-1611.
- Aliberas, J. (2012). *Aproximació als fonaments epistemològics i psicològics per al disseny i aplicació d'una seqüència de ciències a l'ESO*. Tesis i dissertacions electròniques, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Astolfi, J.P. (2012). El error, indisociable del progreso científico. En A. Estany., V. Camps. & M. Izquierdo (Eds.), *Error y Conocimiento: la gestión de la ignorancia desde la Didactología, la Ética y la Tecnología*, (pp.71-91). Granada, España: La razón áurea/ Comares Ed.
- Besson, U., Viennot, L., & Lega, J. (2003). A mesoscopic Model of Liquids for Teaching Fluid Statics. *Science Education Research in the Knowledge-Based Society, Springer Netherlands*, 221-229.
- Buty, C., Tiberghien, A. & Le Maréchal, J.F.(2004). Learning hypotheses and associated tools to design and to analyse teaching- learning sequences. *International Journal of Science Education*. 26 (5), 579-604.
- Cartwright, N. (1999). *The Dappled World: a Study of the Boundaries of Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Echeverría, J. (1995). *Filosofía de la Ciencia*. Madrid: Akal
- Echeverría, J. (2002). *Ciencia y Valores*. Barcelona: Destino:
- 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., Izquierdo, M., Bonil, J. & Ramos, S.L. (2012). The role of language in modeling the natural world: Perspectives in Science Education. En Tobin K, B. Fraser, i C. McRobbie (Eds.), *Second Internacional Handbook of Science Education* (pp. 1385-1405). New York: Springer
- Fourez, G. (1998). *La construcción del Conocimiento Científico*. Madrid: Narcea
- Giere, R.N. (1988). *Explaining Science: a Cognitive Approach*. Chigaco, IL: University of Minnesota Press.
- Giere, R.N. (1999). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra, 9-13.
- Guidoni, P. (1985). On Natural Thinking. *European Journal of Science Education*, 7, 133-140.
- Gutierrez, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza / aprendizaje. *Alambique*, 42, 8-18



- Izquierdo, M. & Adúriz, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12 (1), 27-43.
- Izquierdo, M. & Aliberas, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències. Per un ensenyament de les ciències racional i raonable*. Cerdanyola: Servei Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Izquierdo M., Márquez C. & Cabello, M. (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*, (pp. 145-149). Santiago de Compostela, España.
- Izquierdo, M. (2013). School Chemistry: a philosophical and historical approach. *Science & Education*, 22, 1633- 1653.
- Izquierdo, M. & Márquez, C. (2013). Projecte curricular “Competències de Pensament científic. Ciències 12-15.” *Ciències*, 26, 50-51.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de las Ciencias basada en modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 173-184
- Kuhn, T.S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, IL: The University Chicago Press.
- Marina, J.A. (2005). *Teoría de la Inteligencia Creadora*. Madrid: Anagrama.
- Martinand, J, L. (1986). Enseñanza y aprendizaje de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 45-50.
- Merino, C. & Izquierdo, M. (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 magister no publicada, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Perkins, D. N. (1986). *Knowledge as Design*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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

## Anexo 1

1. Unidades Didácticas del Proyecto ‘Pensamiento científico en laESO, Ciencias 12- 15
2. La gosadia d’explorar l’Univers. Llunyà i proper alhora (la osadía de explorar el Universo: lejano pero a la vez, cercano) (modelo ‘Rayo de Luz) (Modelo s-l-g formado por partículas)
3. El Planeta Blau. Per què? Fins quan? (El Planeta azul. ¿Por qué? ¿Hasta cuando? (Modelo planeta Tierra)
4. La Vida, igual però diferent (La Vida, igual pero diferente) (Modelo Ser vivo en relación a su ambiente)
5. La Terra, un Planeta que canvia (La Tierra, un Planeta que va cambiando) (Modelo Tierra a lo largo de su historia)
6. Què tenen en comú les Muntanyes Russes i els Castellars? (¿Qué tienen en común las Montañas rusas y los ‘Castellers’?) (Modelo ‘mecánica’)
7. Que ve el llop! (¡Que viene el lobo!) (Modelo Ecología)
8. Domesticant el llamp (Domesticando al rayo) (Modelo Electricidad)
9. De l’espelma a la Taula Periòdica (De la vela a la Tabla Periódica) (Modelo Cambio Químico)
10. Donar vida, tenir cura de la vida (Dar vida, cuidar la Vida) (Modelo Salud)