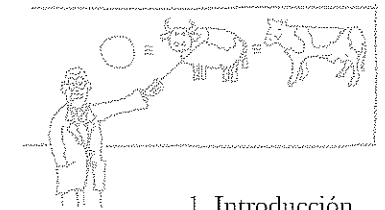


- Quintanilla, M. (1999). El dilema epistemológico y didáctico del currículum de la enseñanza de las ciencias. ¿Cómo abordarlo en un enfoque CTS? *Revista Pensamiento Educativo*, Vol. 25. Facultad de Educación PUC. ISSN 0717-1013. Se describen brevemente los modelos de ciencia y sus consecuencias para la enseñanza.
- Quintanilla, M. (2003). Hablar y construir la didáctica hoy. Del modelo ingenuo transmisor al modelo crítico, productor de conocimiento. *Revista REXE* Vol. 2, N° 4, 69-82. Breve análisis histórico sobre los enfoques sistémicos y analíticos de la didáctica.
- Sanmartí, N. & García, P. (1999). Interrelaciones entre los enfoques curriculares CTS y los enfoques de evaluación. *Revista Pensamiento Educativo*, Vol. 25. Facultad de Educación PUC. ISSN 0717-10132, 65-299. Se destacan los vínculos entre las propuestas curriculares y los modelos de evaluación en enseñanza de las ciencias.
- Sanmartí, N.; Jorba, J. (1995). Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Revista Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*. N° 4, abril, pp. 59-77.
- Vygotsky, L. S. , (1995). *Pensamiento y Lenguaje*, Ed. Paidós, Barcelona.
- Wertsch, J. (1985). *Vygotsky y la formación social de la mente*. Editorial Paidós, Barcelona, España.
- Zeichner, K. & Liston, P. (1991). *Formación del profesorado y condiciones sociales de escolarización*, Ed. Morata, Barcelona, España.

## Capítulo 13

# La modelización: una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos

Pilar García i Rovira  
Neus Sanmartí



1. Introducción
2. La Ciencia: un tipo de cultura que construye modelos teóricos para explicar fenómenos
3. Modelos para la ciencia escolar
4. La enseñanza de las ciencias vista como un proceso de modelización
5. Relevancia social del aprendizaje científico
6. Aprender a hablar ciencia como requisito para aprender ciencias
7. Un ejemplo de un proceso de modelización en el aula aprendiendo genética
8. A modo de conclusión

Referencias  
Anexo

## 1. Introducción

Una de las decisiones que tenemos que tomar los profesores de ciencias se refiere a “qué ciencia enseñar” en nuestras clases. Aunque las administraciones educativas fijen unos contenidos y objetivos mínimos, los enseñantes tenemos un amplio margen de maniobra. Y también podemos incidir en el cambio de estos programas mínimos, si lo consideramos conveniente, a través de asociaciones de profesores u otras plataformas. Muchas veces nos quejamos de los libros de texto, ya que los educadores acostumbramos a basarnos en ellos para programar y no tanto en las orientaciones ministeriales o en los conocimientos que se van generando en el campo de la didáctica de las ciencias. Y los autores de dichos libros se quejan de los editores, ya que éstos son los que muchas veces condicionan fuertemente su estructura e incluso su contenido. Pero los editores actúan en función de la demanda, y está comprobado que los libros innovadores se venden mucho menos que los libros con los contenidos y actividades de siempre. Por todo ello, se puede afirmar que de hecho somos los maestros los que condicionamos las orientaciones que adoptan las editoriales, porque recomendamos un determinado libro a nuestros alumnos.

Uno de los problemas al que generalmente se hace referencia es el de la gran cantidad de conocimientos científicos a enseñar. Los libros de texto están organizados en lecciones y éstas en apartados, cada uno de los cuales acostumbra a incluir como mínimo un concepto importante. Los alumnos acostumbran a percibir estas propuestas de aprendizaje como una suma de ideas a repetir en exámenes, sin reconocer cuáles son las nucleares e importantes, las relaciones entre ellas y mucho menos los fenómenos y hechos del mundo que explican.

Estos conocimientos aumentan día a día y su aprendizaje se suma a los de siempre. Ahora, además de entender los conceptos de enlace químico y sus distintos tipos, han de saber qué es un plástico y los tipos de plásticos. Y, además de las leyes de la herencia, tener claro qué es la clonación o un organismo transgénico. En los dos casos, muchos libros de texto plantean estas materias en lecciones y apartados diferenciados y, aunque los expertos que los han escrito conocen las interrelaciones, éstas no son reconocidas por el alumnado, ya que ni la selección de las ideas-clave ni la secuenciación de las actividades de aprendizaje posibilitan su construcción.

En este capítulo fundamentaremos una propuesta curricular para la enseñanza de las ciencias, relacionada con el aprendizaje de modelos teóricos y con una selección y secuenciación de actividades orientadas a la construcción de dichos modelos

o modelización. Las ideas expuestas se ejemplificarán a partir de un trabajo realizado con alumnos de 15 años acerca de la modelización de la teoría cromosómica de la herencia.

## 2. La Ciencia: un tipo de cultura que construye modelos teóricos para explicar fenómenos

La ciencia forma parte de la cultura construida por los hombres y las mujeres a lo largo de los siglos. En este sentido es similar a la literatura, la pintura, la música o la historia. Las diferentes teorías y modelos científicos son conquistas humanas y su enseñanza posibilita el acceso de las nuevas generaciones a este tipo de conocimiento. Podríamos, pues, afirmar que una finalidad de la enseñanza de las ciencias en la escuela es ayudar al alumnado a apropiarse de esta cultura, es decir, *alfabetizar científicamente*. El conocimiento científico es diferente del conocimiento cotidiano y para acceder a él se necesita un aprendizaje específico que, al menos hoy, sólo se realiza en la escuela.

Pero *cultura científica* no se tendría que asimilar al mero conocimiento de hechos e informaciones. Para este tipo de aprendizaje no se necesita la escuela, especialmente en la época actual, cuando se dispone de amplios medios para encontrar la información de manera rápida. Para saber el nombre de las partes del tubo digestivo, lo mejor es proponer al alumnado que busque la información en Internet, para que, si alguna vez no recuerda dónde está el páncreas, pueda saber cómo buscar este dato. Utilizar tiempo de clase para “explicar” esta información es perder horas que se deberían aprovechar para otras actividades.

Por cultura científica se entiende el conjunto de modelos y teorías que se conocen actualmente para responder a las preguntas sobre los hechos que suceden a nuestro alrededor. Para justificar por qué los seres vivos necesitan nutrirse, y explicar cómo lo hacen, es necesario haber construido un modelo sistémico de ser vivo y relacionar aquello que vemos —por ejemplo, que comemos diferentes tipos de alimentos— con aquello que no vemos: células. Pero también necesitamos haber construido un modelo sobre qué es esta cosa que denominamos energía (y que obtenemos comiendo) y cómo puede ser que los alimentos se transformen en nuestro cuerpo (modelo de cambio químico).

Los modelos y las teorías son constructos culturales que la ciencia ha ideado para dar sentido a los fenómenos de la naturaleza. Son potentes, porque explican muchos hechos diferentes. Con el modelo de fuerza, aclaramos cosas tan diversas como la caída de una manzana, el movimiento de los planetas o por qué la Tierra es esférica. Pero entender qué es una fuerza desde el punto de vista de la física, necesita la mediación de la escuela. Pocos alumnos se pueden apropiarse de esta idea

consultando Internet o leyendo un libro. Sin interactuar con un adulto experto, las personas sólo somos capaces de construir conocimientos denominados de “sentido común”, que no tienen nada que ver con los conocimientos científicos (aunque nos pueden ser útiles para resolver los problemas del día a día).

Sin embargo, los currículos actuales no responden mucho a esta finalidad del aprendizaje de las ciencias. En muy pocos casos se enseña a pensar a través de teorías, y aún en menos, se muestran las preguntas o problemas que desencadenaron cambios importantes en las formas de explicar los fenómenos, el contexto social en el cual se plantearon o los aspectos que favorecieron nuevas respuestas y los hechos sociales relevantes que los explican en el momento actual.

La pregunta que nos hacemos es si es posible enseñar a la mayoría de los alumnos a pensar teóricamente a través de modelos y a que sean capaces de aplicarlos a la interpretación de hechos, sin que el profesorado los “explique”. Muchas veces los maestros renunciamos a ello, ya que es más fácil conseguir que memoricen informaciones y definiciones. Pero en nuestra experiencia hemos comprobado que, aunque se necesita tiempo, constancia por parte de los educadores y afrontar el reto con ilusión, con un buen planteamiento didáctico es posible conseguirlo.

## 3. Modelos para la ciencia escolar

Consideramos que para llegar a ser capaz de pensar y hablar desde la ciencia en el análisis de problemas reales, se requiere aprender a utilizar marcos teóricos elaborados a lo largo de la historia. Aun así, nos encontramos con puntos de vista antagónicos sobre la naturaleza de las teorías científicas. Desde un planteamiento tradicional, se considera que los modelos y teorías son ciertas o falsas, según se ajusten o no a la realidad, pese a que ninguna realidad satisface totalmente estas interpretaciones idealizadas. En cambio, desde la perspectiva de considerar la Ciencia como un conocimiento basado en modelos, se acepta que las interpretaciones no proceden en forma directa de la realidad, sino de modelos, “*objetos abstractos cuyo comportamiento se ajusta exactamente a las definiciones*”, pero cuya relación con el mundo real es compleja. “*El ajuste modelo-realidad no es global, sino sólo relativo a aquellos aspectos del mundo que los modelos intentan capturar*” (Giere, 1999:64).

Para ayudar a entender este punto de vista, es útil analizar, tal como propone el mismo Giere, algunas propiedades de los mapas, aunque obviamente no son lo mismo que los modelos científicos. Un mapa se refiere a una realidad, pero no existe uno que la reproduzca. La selección de las características a representar no depende sólo del deseo, por parte de quien dibuja, de ser objetivo y fiel a lo observado, sino también de otros criterios. Por ejemplo, el criterio de que su uso sea práctico en cuanto a un determinado objetivo (ha de servir para situar poblaciones, para

identificar caminos...). Ello no quiere decir que un mapa no proporcione una buena representación de la realidad, ni que no podamos afirmar que unos son mejores que otros.

Para la Didáctica de las Ciencias, esta visión implica poner el acento de la actividad escolar en la construcción de modelos o tramas de ideas por parte de los alumnos, modelos que les proporcionen una representación y explicación de las características de los hechos del mundo, útil en su momento evolutivo. Estos modelos de la *ciencia escolar* no tienen por qué ser los mismos que los de la ciencia experta, aunque han de ser coherentes con ella. Las condiciones importantes que deben reunir son, por una parte, que sean significativos para el alumnado —que les sean útiles para explicar— y, por otro, que posibiliten su evolución a lo largo de la escolaridad (y de toda la vida).

Los modelos, como fuertes depositarios de analogías y metáforas, sirven para conocer algo de nuevo, a partir de lo ya conocido, para unir dos realidades que hasta el momento eran extrañas. Pensar a través de modelos posibilita establecer relaciones entre “lo real” y “lo construido”, y desarrollar una visión multicausal a partir de considerar más de una variable al mismo tiempo, todo ello con la finalidad de poder predecir y explicar. Los modelos son, pues, los constructos principales del conocimiento científico escolar, siempre y cuando conecten con fenómenos que sean relevantes para los que aprenden y permitan pensar sobre ellos para poder actuar (Izquierdo et al., 1999; Izquierdo, 2000).

#### 4. La enseñanza de las ciencias vista como un proceso de modelización

Desde esta perspectiva de ciencia, aprender en la escuela implica ayudar los alumnos a construir modelos que sean significativos para ellos. Estos modelos serán relevantes siempre y cuando conecten con fenómenos familiares sobre los cuales puedan *pensar, hablar y actuar*. Denominamos modelización al proceso de construir estas relaciones y entendemos que es clave para aprender ciencias, puesto que a través de él los estudiantes saben “dar sentido” a los hechos de su mundo utilizando modelos cada vez más complejos.

Estos modelos teóricos que van construyendo los alumnos son el resultado de ajustes entre las experiencias de su mundo y las representaciones provisionales que van proponiendo para explicarlas. Como indican Driver et al. (1994) *el conocimiento científico es de naturaleza simbólica y negociado socialmente, y los objetos de la ciencia no son los fenómenos de la naturaleza, sino los constructos que la comunidad científica ha elaborado para interpretarla*. Esta visión implica un cambio radical en la concepción sobre qué es importante enseñar y cómo hacerlo en el campo de las ciencias. Desde este punto

de vista, *hacer* ciencia en el aula supone llevar a término una actividad en la cual el análisis de la realidad, la modelización y la discusión se entrecruzan para promover una reconstrucción racional de los fenómenos. A través de esta red de acciones, se introducen y se ponen en juego distintos aspectos de las teorías científicas, que son seleccionados y jerarquizados por el profesorado en función, tanto de su relevancia como el de adecuación al alumnado.

Aprender no es una actividad lineal, sino compleja, resultado de muchas pequeñas reestructuraciones en relación a diferentes “nodos” de una red que se va construyendo. No hay sólo un camino, sino que cada alumno va encontrando el suyo, aun cuando hay unos nodos-clave que no se pueden obviar. Un estudiante puede saber definir muchos conceptos de forma aislada, pero si no ha establecido relaciones en función de un modelo que dé coherencia a todo lo que va aprendiendo, estos conocimientos no le servirán para interpretar el mundo que le rodea. Por ejemplo, un joven puede saber qué es la célula, un cromosoma, la reproducción sexual y la meiosis, pero esto no garantiza que sea capaz de relacionar estos conceptos para explicar cómo se transfieren los caracteres hereditarios de una generación a otra.

Al mismo tiempo, a menudo se enseña la ciencia de manera que se da mucha importancia a que los alumnos digan los conceptos en forma correcta, normalmente reproduciendo tal cual lo que dice el libro o el profesorado, y, en cambio, no se da espacio para la creatividad, la duda y el pensamiento divergente, olvidando que estos aspectos son esenciales en toda actividad científica. Es decir, no se les enseña cómo se construye el conocimiento científico, sino que se da construido.

Los estudiantes aportan al aula sus propias ideas y modelos, aprendidos muchas veces al margen de la escuela. En el aula hace falta recoger los elementos de estos modelos que pueden ser útiles para generar actividad científica escolar, más que destacar los aspectos erróneos. No se puede pretender que toda la clase hable del fenómeno del mismo modo ni al mismo nivel, pero sí que todo el mundo progrese en la manera de explicarlo teniendo como referente el modelo experto. Por lo tanto, se hace necesario diseñar propuestas didácticas que favorezcan la creatividad en la elaboración de argumentos, de manera que los conocimientos normativos finalmente tengan sentido para los alumnos y les proporcionen autonomía a la hora de pensar y hablar sobre los fenómenos.

#### 5. Relevancia social del aprendizaje científico

Si compartimos la idea de que la escuela tiene la finalidad de *preparar a los individuos para comprender, opinar e intervenir en su comunidad de manera responsable, justa, solidaria y democrática* (García, 2002), la enseñanza de las ciencias es un componente fundamental

de esta transformación. La ciencia posibilita entender el mundo, hacer predicciones y actuar en el entorno. Es por este motivo que se consideran tan importantes, por ejemplo, el estudio de las temáticas relacionadas con la Educación Ambiental y la Educación para la Salud, entre otras. La ciencia escolar debería conectar con los problemas cotidianos y ser útil para que las personas fueran más autónomas en la toma de decisiones y capaces de participar democráticamente en la resolución de los problemas de la sociedad. Es lo que Layton (1992) llama *conocimiento para la acción*.

En el momento actual los nuevos currículos de enseñanza de las ciencias se están definiendo sobre la base del desarrollo de competencias. Este concepto puede tener acepciones muy diversas, pero es de interés la definición que se da en el marco del proyecto PISA: “*Capacidad de actuar eficazmente en situaciones diversas, complejas e imprevisibles; se apoya en conocimientos, pero también en los valores, la experiencia...*” (EURYDICE, 2002). Esta definición pone el acento de la competencia como capacidad relacionada con la actuación en situaciones imprevisibles, que no tienen por qué ser las mismas que se han analizado en el proceso de enseñanza, y complejas, que obligan a interrelacionar muchas variables en el espacio y en el tiempo.

Para llegar a ser competente en este sentido, es necesario que la escuela favorezca en el alumnado la construcción de modelos teóricos complejos. No se pueden transferir conocimientos si sólo se ha aprendido a resolver problemas concretos. Es necesario, entonces, abstraer los modelos abstractos que están detrás de los procesos de resolución. Únicamente si se ha desarrollado un buen modelo de fuerza gravitatoria, es posible interpretar fenómenos muy diversos, complejos e imprevisibles.

Sin embargo, la construcción de modelos científicos abstractos necesita partir del análisis de situaciones contextualizadas, cercanas a los intereses del alumnado y relevantes en lo social. Los estudiantes tienen experiencias e ideas sobre la interpretación de dichas situaciones y valores asociados que se habrán de cuestionar a lo largo del proceso de aprender. Es a partir del análisis de situaciones concretas que se podrán reconocer y abstraer las ideas-clave que configuran el modelo teórico y sus relaciones. Por tanto, no tiene sentido exponer una teoría y sí ayudarla a construir a partir del análisis de hechos del mundo.

En este sentido, es muy importante plantear bien la secuencia de actividades de enseñanza-aprendizaje para que, partiendo de las experiencias previas e ideas del alumnado, se promueva la construcción de significados progresivamente más abstractos y complejos. Ello supone planificar la enseñanza como un proceso que parte del análisis de situaciones concretas, cercanas al mundo de los estudiantes, para ir introduciendo en forma gradual entidades menos familiares y más abstractas —generadas en el marco de la ciencia— para explicar los mismos hechos (Sanmartí y Izquierdo, 1997).

En el caso del aprendizaje científico, el proyecto PISA considera la competencia científica como la “*Capacidad de los escolares de utilizar el conocimiento científico para identificar preguntas y obtener conclusiones a partir de evidencias, con la finalidad de comprender y*

*ayudar a tomar decisiones sobre el mundo natural y los cambios que la actividad humana produce*” (OECD, 2001). En esta estimación, además de los aspectos mencionados en la definición de competencia general, se incide en dos aspectos-clave del aprendizaje científico: en la capacidad de plantearse “buenas” preguntas y de deducir conclusiones, teniendo en cuenta las pruebas, obtenidas generalmente a partir de la experimentación. Los profesores tendemos a hacer preguntas muy simples y en las que sólo se pretende que el alumnado reproduzca lo que lee en un texto o lo que observa, y este es el tipo de interrogantes que ellos aprenden a plantear. Pocas veces enseñamos a proponer cuestionamientos de interés, cuando todos sabemos que, en la génesis del conocimiento científico, son un aspecto clave.

Tampoco analizamos la función de las pruebas en la emisión de conclusiones, y los estudiantes no distinguen entre una opinión y una interpretación fundamentada en pruebas y/o referentes teóricos. La evolución de los modelos teóricos y el aumento de su grado de complejidad y abstracción pasan fundamentalmente por reconocer si las pruebas confirman o no las ideas expresadas. Por ello, el diseño del proceso de enseñanza-aprendizaje debería incidir en el desarrollo de la capacidad de los alumnos para plantearse inquietudes.

## 6. Aprender a hablar ciencia como requisito para aprender ciencias

En las clases de ciencias muchas veces se pide a los alumnos y a las alumnas que expresen sus ideas oralmente o por escrito; que describan, expongan puntos de vista, los argumenten, etc. Toda esta actividad lingüística tiene una doble función mediadora del aprendizaje: por un lado, estimular a los que aprenden para que “pongan en forma” lo que han oído o leído y lo que piensan y, por otro, favorecer la regulación interactiva, contrastando las distintas verbalizaciones, y sugiriendo cambios.

Por tanto, la expresión verbal de las ideas posibilita tanto su organización como que se puedan discutir y validar, contribuyendo todo ello a la construcción del conocimiento. De la misma forma que los científicos perfilan sus ideas al escribir artículos, y las evalúan y revisan al exponerlas ante comunidad científica en congresos y publicaciones, los estudiantes organizan y regulan las suyas al comunicarlas en el marco de actividades científicas escolares (Edwards, 1992; Sanmartí, et al., 2003). El lenguaje de los escritos científicos tiene unas características bien determinadas: es preciso, no ambiguo, riguroso, formal, impersonal y a menudo hipotético (Sutton, 1997). Las ideas han de estar bien fundamentadas y organizadas. Se aprende sólo en la escuela (o en contextos relacionados con el conocimiento científico), ya que es distinto del lenguaje utilizado en el ámbito cotidiano.



Sin embargo, no se puede confundir el aprendizaje del lenguaje de la ciencia con el de su vocabulario específico, a pesar de que, tal como algunos estudios han puesto de relieve, es posible aprender más palabras nuevas en una hora de clase de biología que en otra de inglés de un mismo curso. Más bien, tal como indica Lemke (1997), se trata de aprender a “hablar ciencia”, una “lengua” que sirve para comunicarse en el contexto científico. Para que el alumnado progrese en la construcción del conocimiento científico, tiene que llegar a conocer tanto el “patrón temático” como el “patrón estructural” propios de cada disciplina, y se deben enseñar de forma conjunta.

La elaboración del modelo científico se interrelaciona fuertemente con la construcción del vocabulario para expresar las ideas y el uso de formas discursivas apropiadas. Por ejemplo, quemar un cacahuete en clase, la combustión de un vela o de la gasolina pueden promover la formación del modelo “cambio químico” si, además de observar hechos relevantes (función del oxígeno, cambios en la masa, en las sustancias, en la energía...), se va hablando, discutiendo y escribiendo sobre todo esto. A medida que el alumnado intenta expresar los hechos y el modelo que va construyendo para interpretarlos, necesitará nuevas palabras y expresiones. Pero el lenguaje científico se caracteriza no sólo por su vocabulario y simbología, sino también por sus estructuras lingüísticas. Por ejemplo, no se describe igual en un contexto científico que en otro poético, y el lenguaje hipotético es básico en el discurso científico. Este “patrón lingüístico” necesariamente debe complementarse con un buen conocimiento del “patrón temático”, ya que para que una descripción o una explicación sean significativas se requieren seleccionar los aspectos científicos relevantes. Asimismo, para justificar y dar argumentos, es necesario aportar razones válidas desde la ciencia y contraponerlas a otras propias del conocimiento cotidiano.

Aunque los estudiantes aprendan a leer y escribir en las clases de lengua, no implica que sepan aplicar dichos conocimientos en el momento de leer y escribir en la clase de ciencias, tanto porque el lenguaje científico tiene sus propias “reglas de juego” —su “patrón”— como porque un mismo texto puede comunicar ideas distintas, según el significado que le otorga la persona que lo lee en función de sus referentes. Por lo tanto, la tarea del profesor de ciencias es ayudar a relacionar conocimientos lingüísticos y científicos, y no se puede esperar que la mayoría de alumnos establezca estas relaciones autónomamente.

## 7. Un ejemplo de un proceso de modelización en el aula aprendiendo genética

¿Es posible enseñar genética hoy, de manera que sea relevante para el alumnado y significativa desde la ciencia? La primera pregunta que nos formulamos en cohe-

rencia con lo dicho antes, fue qué sentido podía tener para los estudiantes aprender genética en la etapa de enseñanza obligatoria. Nuestra reflexión partió de considerar que apropiarse de estos conocimientos culturales, quiere decir no sólo ser capaz de reproducir las informaciones científicas de los libros de texto o las explicaciones del profesorado, sino que, además, los estudiantes lleguen a utilizar estos conocimientos para pensar, hablar y actuar sobre el mundo en las situaciones que se presenten en su vida diaria. ¿Y cuáles pueden ser estas situaciones? ¿Cómo podemos reconocer que son relevantes? Para responder a estas preguntas es necesario pensar en las que pueden hacerse los jóvenes a partir de su realidad. Por ejemplo, sobre las semejanzas y diferencias entre los miembros de su familia en caracteres como el color de los ojos, el tipo de cabello, el grupo sanguíneo..., o por qué nacen niños con enfermedades hereditarias o anomalías congénitas..., o sobre muchas de las temáticas que encontrarán al leer el periódico o ver la TV: alimentos transgénicos, células madre, organismos clónicos... Estos y otros problemas que, sin duda, interesan al alumnado tienen poco que ver con las situaciones que clásicamente aparecen en los textos escolares, muy influenciados por la tradición académica, en los que a menudo se inicia el estudio de la genética con los experimentos hechos por Mendel con plantas de guisantes.

El segundo reto que nos planteamos fue cómo conseguir que el aprendizaje fuese significativo en relación a los conocimientos científicos actuales, además de relevante en lo social. Pero apropiarse de estos conocimientos teóricos no es fácil. Los científicos, para hablar de los modelos han construido unas entidades y un lenguaje simbólico y abstracto. Muchas veces se supone que enseñando el denominado “vocabulario científico” el estudiante ya se apropia de su significado y se olvida que, si se quiere que el modelo le sirva para explicar los hechos del mundo, se ha de potenciar su construcción a nivel individual y eso comporta un proceso mental complejo.

Por ejemplo, los genéticos utilizan letras para interpretar los genes y sus alelos. Estos símbolos representan unidades de información y, por tanto, constituyen entidades con un significado determinado. Es fácil constatar que los alumnos pueden aprender a utilizar estos símbolos como un algoritmo, sin apropiarse de su significado. Quizás eso les sea útil para aprobar la asignatura, pero no es suficiente para explicar hechos de su entorno como los mencionados anteriormente. En el caso de la genética valoramos que para aprender de manera significativa es necesario que el alumnado llegue a ser capaz de utilizar las ideas básicas de la teoría cromosómica de la herencia. El objetivo es que explique situaciones que conoce, como las semejanzas entre familiares y otros, utilizando este modelo teórico. Esto implica cambiar la forma de “ver” y de hablar de los hechos. En la vida cotidiana, por ejemplo, se interpreta que son los propios caracteres —color de los ojos o forma del lóbulo de la oreja— lo que se hereda y se transfiere, mientras que los estudiantes tendrán que aprender a “ver” y a hablar de entidades teóricas no visibles como “células, cromosomas, ADN, genes, meiosis, fecundación...” para definir estos mismos hechos.

Una de las maneras de “ver” y de “mirar” de la ciencia, consiste en buscar regularidades. Si conseguimos que los alumnos aprendan a explicar la transmisión de los caracteres hereditarios sobre la base del modelo teórico antes mencionado, serán capaces de reconocer regularidades a partir de una gran diversidad de observaciones, ya que los diferentes patrones de herencia —dominancia, recesividad, codominancia, herencia ligada al sexo...— se pueden interpretar con el mismo modelo teórico: la teoría cromosómica de la herencia. Aprender a utilizar este modelo va más allá de conocer los experimentos y las leyes de Mendel. Implica, en cambio, reconocer las relaciones que hay entre genes y cromosomas, y entre éstos y las distintas fases del ciclo biológico, formación de las células reproductoras, fecundación y desarrollo del nuevo individuo a partir de la célula-huevo.

Un tercer aspecto que tuvimos en cuenta en el diseño didáctico fue la necesidad de desarrollar la capacidad del estudiantado para describir, explicar, justificar y argumentar científicamente, como condición para aprender a hablar y escribir con sentido sobre la interpretación de los problemas de la herencia. Para hacerlo necesitaban utilizar el lenguaje de la ciencia, que es más que enunciar palabras técnicas. Implica, como ya se ha indicado, conocer al mismo tiempo el “patrón lingüístico” (formas textuales propias del lenguaje científico) y el “patrón temático” (conceptos y modelos teóricos), ya que para que una descripción, una explicación o una argumentación sean significativas y pertinentes, se requiere tanto seleccionar los aspectos científicos relevantes como diferenciar las formas textuales requeridas para adaptarse a la demanda.

Aunque los alumnos aprendan a leer y escribir en las clases de lengua, esto no implica que sepan aplicar dichos conocimientos en el momento de leer y escribir en el ramo de ciencias. Por tanto, creemos que también es tarea del profesorado de esta última materia ayudar a relacionar conocimientos lingüísticos y conocimientos científicos. El reto para los que nos dedicamos a enseñar es diseñar un proceso didáctico y unos materiales que faciliten a los estudiantes la construcción de todos estos conocimientos. Ello comporta tomar una serie de decisiones no solamente en relación a los contenidos, es decir, sobre qué enseñar y en qué orden, sino también en cómo hacerlo, a partir de qué actividades y situaciones prácticas.

En nuestro caso, diseñamos una unidad didáctica titulada “Semejantes pero diferentes”, en la que propusimos a nuestros estudiantes de quince años el análisis de situaciones y problemas de las personas, para aprender los conceptos y procedimientos básicos de la genética. El estudio de caracteres humanos es mucho más interesante y familiar para el alumnado que el color y la forma de los guisantes. En la naturaleza hay individuos, personas u otros seres vivos, con un fenotipo y un genotipo determinado que se aparean entre ellos y tienen descendencia y no individuos seleccionados con una determinada finalidad, como en el caso de las experiencias de Mendel. Ello no niega la importancia de conocer la figura histórica de Mendel y su papel en la génesis del conocimiento de los mecanismos de la herencia. Para decidir la secuencia de enseñanza-aprendizaje tuvimos en cuenta las experiencias

previas y las ideas del estudiantado sobre el tema. Las actividades de aprendizaje se diseñaron intentando promover un proceso de construcción de significados progresivamente más abstractos y complejos. Hacer esto requiere planificar la enseñanza como un proceso (figura 1) en el cual se comienza por el análisis de situaciones concretas, cercanas y familiares del mundo de los alumnos, y de manera gradual y progresiva se van introduciendo entidades más abstractas —generadas en el marco de la ciencia— para explicar los mismos hechos (Sanmartí y Izquierdo, 1997).

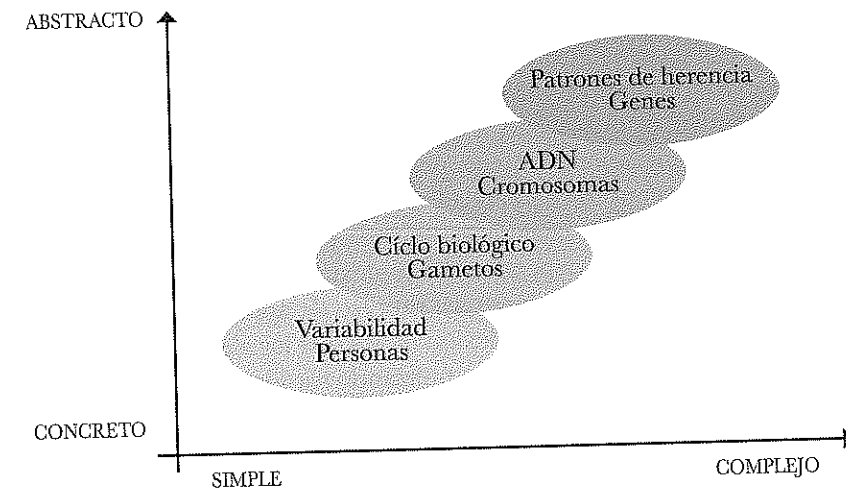


Figura 1: Secuenciación de los contenidos.

En nuestro caso, iniciamos el tema estudiando la variabilidad de las personas de la clase para un conjunto de caracteres físicos, caracteres muy familiares a todos los alumnos, la mayor parte de los cuales se pueden observar en forma directa. Los estudiantes saben explicar la transmisión de algunos de estos caracteres a base de las relaciones de parentesco. A continuación, se introdujo la función de las células reproductoras como vehículo de esta transmisión, relacionándolas con el ciclo biológico. En ese momento, las explicaciones que tuvieron que elaborar para interpretar las semejanzas y diferencias entre las personas se situaban en el nivel “organismo” y las células —invisibles y menos familiares— eran las entidades que tenían que utilizar para exponer. En la etapa siguiente, se introdujo el concepto “cromosoma”, como la estructura que se conserva, se duplica y se transfiere por mitosis para enviar la información de la célula-huevo a todas las demás células del cuerpo, o por meiosis, al formar las células reproductoras: óvulos o espermatozoides. Las observaciones se situaron ahora a nivel celular y fue necesario utilizar una nueva entidad, el cromosoma —una estructura de la célula—, para demostrar cómo se transmite la información de una célula a otra, durante el proceso de la reproducción celular.

Posteriormente, se introdujo la entidad "ADN" como una de las sustancias químicas que forman parte de los cromosomas. Valoramos que, aunque no es necesario hablar de la composición química de esta sustancia, sí es importante reconocer las características relevantes en relación a su función biológica: idoneidad para almacenar muchísimos mensajes informativos diferentes y para copiarlos de manera fidedigna, pero posibilidad de cambios al azar imprescindibles para entender cómo se ha generado la gran variabilidad de los seres vivos. El concepto de gen se introduce como una unidad de información localizada en un determinado cromosoma. A partir de este momento, los alumnos ya pueden utilizar la teoría cromosómica de la herencia para explicar la transmisión de los caracteres de padres a hijos.

Analizando esta secuenciación de los contenidos, se puede comprobar que el nivel de abstracción requerido para explicar el mismo hecho es cada vez mayor, según si se hace a nivel de organismo, a nivel celular o cromosómico y de genes (ver figura 1). Dicha secuenciación favorece, por una parte, la construcción de forma interrelacionada de los conceptos implicados en los diferentes niveles teóricos y, por otra, la toma de conciencia de cuáles son, en cada caso, los hechos y aspectos relevantes para explicar y los que dependen del contexto propio de cada situación.

Las actividades realizadas a lo largo del proceso de aprendizaje fueron muy variadas. Incluían desde ejercicios de reflexión en los que los alumnos tenían que describir, explicar, justificar y/o argumentar, utilizando sus ideas, hasta la construcción y uso de modelos materializados: cromosomas, fragmentos de ADN para simular procesos de división celular, o replicación del material hereditario. También aprendieron a ordenar cariotipos, a diagnosticar a partir de ellos y a utilizar las huellas de ADN con finalidades parecidas. Se resolvieron problemas mediante la simulación por ordenador (Llort y García, 1999) y con lápiz y papel y, finalmente, los estudiantes realizaron encuestas a su familia sobre algún carácter morfológico y elaboraron hipótesis sobre el patrón o patrones de herencia compatible con sus datos.

Algunas de las actividades tenían por objetivo promover de manera específica la toma de conciencia de las características de los textos que se les pedía que redactasen, y otras estimular la autorregulación a partir de la construcción y uso de instrumentos como, por ejemplo, bases de orientación o de criterios de evaluación. Estas actividades estaban dirigidas a ayudar al alumnado a aprender a anticipar y planificar las condiciones requeridas para la elaboración de cada tipo de texto y para aprender a evaluarlos con el fin de que tuvieran un buen nivel de calidad. Las actividades se planificaron buscando que los estudiantes analizaran situaciones cercanas. En nuestra experiencia comprobamos que se implicaron en el trabajo en buena parte debido a que a menudo eran los protagonistas de los problemas planteados. Por ejemplo, las características de los gemelos analizados eran compañeros del aula; el genotipo que se quería conocer era el de uno de los jóvenes de la clase y el de sus padres y hermanos; cada alumno elaboró el pedigree de su familia para un carácter determinado e hicieron hipótesis para deducir el patrón de herencia sobre la base de los datos disponibles, etc.

Encontrar situaciones del entorno próximo del estudiantado para su análisis no es excepcional. Dado que el objetivo de la enseñanza de las ciencias es justamente promover la interpretación de hechos de la naturaleza, es necesario que los profesores sepamos reconocer cuáles pueden favorecer mejor la construcción de los modelos científicos propuestos, en lugar de plantear su aprendizaje de forma descontextualizada. Un ejemplo de una actividad de este tipo sería la que incluimos en la figura 2 (ver anexo página 296).

En ella se puede ver cómo el alumno llega a utilizar el lenguaje científico de forma parecida a como lo hacen los expertos, pero antes ha necesitado construir los conocimientos y apropiarse de su significado. Creemos que no se puede suponer que cuando un estudiante es capaz de repetir lo que está escrito en un libro de texto, es indicador de que ya ha aprendido ciencia, porque las ideas se exponen de forma sintética y abstracta. Sólo cuando el alumno ha realizado de manera individual este proceso de abstracción y de síntesis, las palabras del libro pueden llegar a adquirir un significado próximo al que le da el profesor. Aunque algunas veces se supone que se pueden aprender ciencias leyendo el libro de texto, en realidad el proceso es justamente el contrario: sólo cuando ya se han construido los conceptos, su contenido comienza a tener significado para los estudiantes.

## 8. A modo de conclusión

Ya hace muchos años que Aristóteles argumentó que las personas llegan a ser virtuosas no tanto porque se les enseñe o piensen de forma sensata, sino porque actúan virtuosamente. Siguiendo este razonamiento, es importante que los estudiantes lleguen a ser virtuosos, utilizando la ciencia y la tecnología en su vida cotidiana, y que el diseño de los cursos de ciencia y de los sistemas de evaluación estén de acuerdo con esta finalidad educativa (Powers, 1990). Tenemos que preguntarnos si queremos formar jóvenes que en relación a la ciencia sean rutinarios, reproductivos, no imaginativos... o personas creativas, con un pensamiento divergente... y si nuestro trabajo consiste en transmitir conocimientos científicos "verdaderos", incluidos en los libros de texto, o mejorar las teorías de los jóvenes sobre el mundo, para que puedan comprenderlo mejor y actuar, transformándolo (Claxton, 1994). Y también es necesario preguntarnos si queremos que la mayoría de los estudiantes se interese por esta forma de conocimiento que es la ciencia y si estamos de acuerdo con lo que J. P. Segest escribía en el año 1973 en la revista *Science*, 182:336:

*"La educación científica... es importante tanto para el público en general como para los científicos... En cualquier sociedad madura, la ciencia debería ser una parte integral de la sociedad... ¿Hay alguna razón por la que la excitación y la satisfacción que el cien-*



*tfico recibe de su investigación del conocimiento no pueda ser compartida por todos? Yo no lo creo... No puedo ver ningún motivo por el que el público en general, si la ciencia ha estado integrada a la educación desde la infancia, no pueda seguir los descubrimientos científicos de forma que este seguimiento sea una actividad placentera, casi con el mismo interés que sigue el fútbol, el tenis, o los campeonatos de ajedrez”.*

No podemos renunciar a que los alumnos aprendan temas significativos, ciencia de verdad. Esto no está reñido con que estén interesados y motivados. Al contrario, cuando los chicos y chicas se dan cuenta de que son capaces de utilizar ideas de la ciencia para explicar de forma no memorística, es justamente cuando se genera la verdadera motivación. Una condición imprescindible es generar retos, misterio, y que perciban que aquello que se les pretende enseñar no lo saben y puede llegar a ser interesante y útil. Como escriben Ogborn et al. (1998), es necesario “crear diferencias”. En este sentido, aunque a veces los profesores no lo percibamos, para los estudiantes es una fuente de motivación llegar a ser capaz de utilizar con sentido el lenguaje de la ciencia.

También es necesario que los profesores acudamos a todos los sistemas didácticos de los que actualmente se puede disponer: juegos de simulación por ordenador y otros, materiales manipulables, novelas, técnicas de presentación de las actividades con recursos gráficos estimulantes... Utilizando una diversidad de recursos se consigue, asimismo, que más alumnos encuentren aquél que se adecúe más a sus características cognitivas y motivacionales. Por último, también quisiéramos incidir en la necesidad de enseñar ciencias en un contexto que sea relevante y motivador. Si queremos que los estudiantes hablen y se impliquen en el aprendizaje de una temática, es necesario plantearles situaciones problemáticas próximas y de su interés. Pero al mismo tiempo estas situaciones han de ser relevantes, tanto desde el punto de vista científico como social.

## Referencias

- Claxton, G. (1994). *Educación de mentes curiosas*. Madrid: Aprendizaje/Visor.
- Driver, R.; Asoko, H.; Leach, J.; Mortimer, E.; Scott, P. (1994). *Constructing scientific knowledge in the classroom*. *Educational Researcher*, 23 (7), 5-12.
- Edwards, D. (1992). Discurso y aprendizaje en el aula. En: Roders, C.; Kutnick, P. (Eds.), *Psicología social de la Escuela Primaria*. Barcelona: Paidós, 4-81.
- EURYDICE (2002). *Competéncias clés*. Bruxelles: Unité Européenne.
- García, J. E. (2002). Los problemas de la Educación Ambiental: ¿es posible una Educación Ambiental integradora? *Investigación en la Escuela*, 46, 5-26.
- García, P.; Sanmartí, N. (1998). Las bases de orientación: un instrumento para enseñar a pensar teóricamente en Biología. *Alambique*, 16, pp. 8-20.
- Giere, R. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las ciencias*, Número Extra, 63-70.
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En: Perales, F. J.; Cañal, P. (Coords.), *Didáctica de las ciencias experimentales*. Alcoy: Editorial Marfil, 35-64.
- Izquierdo, M.; Espinet, M.; García M. P.; Pujol, R. M.; Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la Ciencia Escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 79-91.
- Layton, D. (1992). Science and technology teacher training and the quest for quality. En: Layton, D. (Ed.) *Innovations in Science and Technology Education*. Vol. IV. Paris: UNESCO.
- Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- Lucas, A. (1993). *Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las Ciencias*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, CIDE.
- Llort, J. M. y García, P. (1999). *El joc dels gens*. CD ROM SINERA. Barcelona: Ed. Programa d'Informàtica Educativa de la Generalitat de Catalunya.
- OECD (2001). *La medida de los conocimientos y destrezas de los alumnos. La evaluación de la lectura, las matemáticas y las ciencias en el Proyecto PISA 2000*. Madrid: INCE.
- Ogborn, J.; Cress, S. G.; Martins, I.; McGillicuddy, K. (1998). *Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en Secundaria*. Madrid: AulaXXI/Santillana.
- Powers, C.N. (1990). Policy Issues in Science Education: An International Perspective. En: E.W., Jenkins (Ed.), *Policy issues and school science education*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. Leeds: The Univ. of Leeds, pp. 1-17.
- Sanmartí N.; Izquierdo, M. (1997). Reflexiones en torno a un modelo de ciencia escolar. *Investigación en la Escuela*, 32, 51-62.
- Sanmartí, N.; Izquierdo, M.; García, P. (1999). Hablar y escribir. Una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, pp. 54-58.
- Sanmartí, N. (Cordra.). (2003). *Aprender Ciències tot aprenent a escriure Ciència*. Barcelona: Ed. 62.
- Sutton, C. (1997). Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique*, 12, 8-32.

Anexo

¿Cómo se hereda el factor Rh?

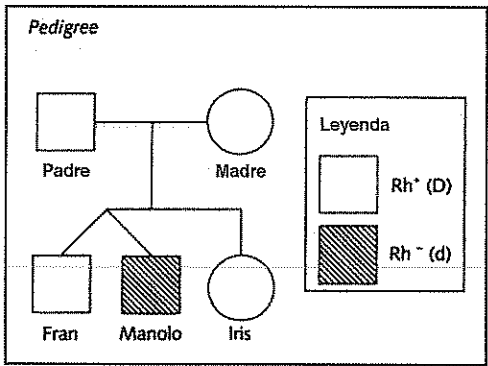
El factor Rh es hereditario. El gen responsable del factor Rh tiene dos alelos **D**, **d**. El alelo **D** es responsable de la presencia de antígenos Rh en las células sanguíneas, mientras que el alelo **d** determina que estas células no tengan antígenos Rh. El alelo **D** es dominante sobre **d**, intenta deducir por qué. Piensa en la información que pueden llevar los cromosomas de las personas de uno y otro grupo y represéntalo en el lugar que corresponda de la figura adjunta.

Fenotipo	Teoría cromosómica de la herencia	Genotipo
		- DD (homocigoto dominante)
		- Dd (heterocigoto)
		- dd (heterocigoto recesivo)

Aplica lo que has aprendido

El padre y la madre de Fran son Rh<sup>+</sup>. Fran y su hermana Isis tienen el mismo fenotipo que sus padres, pero su hermano Manolo es Rh<sup>-</sup>.

- Representa en un pedigree los fenotipos de todas las personas de esta familia.
- ¿Podrías deducir el genotipo, para el factor Rh, de los padres de Fran? Explica cómo lo has deducido.
- ¿Puedes saber el genotipo de Manolo, Fran e Isis? Explicalo.



*Determinación de los genotipos\*:*

*Para saber el genotipo de las personas de la primera generación (el padre y la madre) tenemos que basarnos en sus fenotipos y los de sus hijos. En ambos casos el fenotipo es Rh<sup>+</sup>. Por tanto, sus posibles genotipos son DD (homocigoto dominante) o Dd (heterocigoto, pero esta pareja ha tenido un hijo que es Rh<sup>-</sup> (Manolo) que es homocigoto recesivo (dd). Por este motivo podemos asegurar que los genotipos de los padres son Dd, ya que de no ser así nunca podrían tener un hijo con Rh<sup>-</sup>.*

*El fenotipo de Manolo es Rh<sup>-</sup> y por este motivo, podemos asegurar que su genotipo es dd, ya que, basándonos en el modelo hereditario que el alelo D es el dominante y el alelo d es el recesivo, es el único genotipo posible para este fenotipo, ha de ser homocigoto recesivo.*

*Fran e Isis son Rh<sup>+</sup> y al igual que sus padres, los genotipos posibles son DD (homocigoto dominante) o Dd (heterocigoto); pero, en este caso, no podemos decir cuál de los genotipos tienen, ya que no tenemos información de una tercera generación que corresponda a sus hijos.*

\* En cursiva texto escrito por un alumno.