

Ideas para una mayor formalización de la didáctica de las ciencias.

Manuel Navarro Pastor

Facultad de Educación
Universidad de Alicante

Resumen:

La enseñanza por investigación es el método recomendado por la mayoría de especialistas en Didáctica de las Ciencias desde los albores de la disciplina. Sin embargo es fácilmente argüible que no existe un discurso coherente entre los distintos investigadores y que aún quedan muchas preguntas básicas por resolver. En este escrito proponemos un conjunto de ideas que pretenden contribuir a una mayor formalización de la Didáctica de las Ciencias, con especial atención a la enseñanza por investigación, y facilitar la respuesta a algunas de esas preguntas.

Palabras clave: enseñanza por investigación, enseñanza expositiva, enseñanza por resolución de problemas, modelo, filosofía de la ciencia.

Summary:

Inquiry based teaching is the recommended method by the majority of specialists in science education since the down of the discipline. Yet it can be easily argued that there is not a coherent discourse amongst the different researchers, and that there still remain many unanswered questions. In this article we propose a number of ideas aimed at facilitating a greater formalisation of science education, with special emphasis on inquiry based methods, and at answering some of those questions.

Key Words: inquiry-based learning, expositive learning, problem-based learning, model, philosophy of science.

(Fecha de recepción: septiembre, 2006, y de aceptación: octubre, 2006)

Enseñanza por investigación: acuerdos y diferencias

Demarcaciones Compartidas

La principal alternativa que proporciona la Didáctica de las Ciencias a la enseñanza expositiva es la enseñanza por investigación. La prescripción de enseñar ciencia mediante la investigación es tradicional en Didáctica de las Ciencias [véase por ejemplo Furtak (2006), Abd-el Khalik et al. (2004), Rowell (2004), Gil Perez, Gavidia Catalán, Vilches Peña y Martínez Torregrosa (1998); Council of Ministers of Education, Canada (1997), National Research Council (1995), *American Association for the Advancement of Science* (1993), Harlen (1989), Shulman y Keislar (1974), Carin y Sund (1967), Schwabb (1960, citado por *National Research Council*, 2000), Dewey (1910/64) (citado por O'Neill y Polman, 2004 y Stepanek, 2001)]. Incluso Locke y Rousseau propugnaban ya este tipo de enseñanza (García y Cañal, 1995).

Es obvio que dicha prescripción necesita ser desarrollada y formalizada, y de hecho algunas demarcaciones son ampliamente compartidas por los distintos investigadores. En primer lugar no hay que confundir enseñanza mediante investigación con la presencia y uso del laboratorio y por tanto no es suficiente que la enseñanza se realice con actividades prácticas o de laboratorio (*National Research Council*, 2000). La asociación de las prácticas de laboratorio con el conjunto del

trabajo científico es una idea alternativa y supone una visión reduccionista de la actividad científica que asocia prioritariamente investigación a trabajo experimental (Gil *et al.*, 1999b). De hecho estudios sobre los logros en distintos países indican que la realización de experimentos correlaciona inversamente con los resultados de aprendizaje (Harlen, 1992). Esta afirmación deja de ser sorprendente si revisamos el Nuevo Manual de la UNESCO para la enseñanza de las Ciencias (UNESCO, 1973/78). La única orientación docente que propone es la frase axiomática: “Para que las ciencias se aprendan eficazmente su enseñanza debe ser experimental”. La casi totalidad del libro son propuestas de experimentos; así por ejemplo, para enseñar el movimiento de rotación de la Tierra se propone la construcción de un péndulo de Foucault y la observación de la precesión de las oscilaciones del mismo, para concluir el tema afirmando: “Por supuesto que la responsable de este fenómeno es la Tierra que rota por debajo del peso del péndulo”. Este llamativo error puede no obstante trazarse hasta nuestros días; así los *Delta Science Modules* americanos proponen en una actividad: “Los alumnos diseccionan una flor grande completa. Identifican las partes de la flor y descubren la función de los pétalos, los estambres, el polen y el pistilo” (subrayado nuestro).

Un uso frecuente del laboratorio ha sido la realización de experimentos para demostrar lo explicado en clase (*National Research Council*, 2000), a pesar de

que Schwabb (1960) ya justificó que el laboratorio debía anteceder a las explicaciones y no al revés, lo que mantiene prácticamente todas las limitaciones de la enseñanza expositiva. También Harlen (1983) afirma que las experiencias no deben ser usadas para ilustrar las ideas científicas sino para generar las ideas científicas. En muchos casos se ha proporcionado a los alumnos instrucciones detalladas para la realización de los experimentos –“recetas de cocina”-, lo que impide a los alumnos evaluar el problema y tomar decisiones (*National Research Council*, 2000) y transmiten una visión deformada y empobrecida de la actividad científica (Gil, Carrascosa y Martínez Torregrosa, 1991; Gil *et al.* 1999b), impidiendo su desarrollo conceptual y procesual.

Otro uso habitual del laboratorio ha consistido en realizar un experimento delante de los alumnos y esperar que estos extraigan conclusiones. Esta práctica se apoya en el mito del origen sensorial del conocimiento científico ya criticado por Piaget (1969), que entiende que el conocimiento se forma directamente a través de los estímulos externos que poseen significado unívoco en sí mismos. Esta concepción encaja con la epistemología inductista (empirismo ingenuo) según la cual el conocimiento se deriva directamente de la observación, que si es realizada de forma cuidadosa e imparcial en un número suficiente de casos conduce con certidumbre a las teorías que son por tanto un reflejo directo de la realidad (Campanario

y Moya, 1999; Martínez Torregrosa, 2001).

Una formalización insuficiente

Aunque, como hemos visto, la recomendación de enseñar la ciencia mediante la investigación es un lugar común en muchos currículos y en la literatura especializada, esto no suele ir acompañado de definiciones precisas sobre que es (y que no es) enseñanza por investigación (Furtak, 2006; Wallace y Kang, 2004; Anderson, 2002). Por ejemplo, los afamados estándares de los Estados Unidos (*National Research Council*, 1995) se refieren a investigación en la escuela como

(...) las distintas actividades de los estudiantes en las que desarrollan conocimiento y comprensión de las ideas científicas, así como una comprensión de cómo los científicos estudian el mundo natural. (p. 23).

y prescriben que los currículos deben estar basados en la (enseñanza por) investigación (p. 7). A esto suman todo tipo de viñetas sin ningún tipo de análisis sistemático sobre qué tienen en común y qué diferencia unas de otras (cuáles son los parámetros a tener en cuenta), y sin ningún tipo de orientación sobre qué tipos de secuencias diseñar o escoger en según qué casos. Abd-el-Khalik *et al.* (2004) denuncian tanto la ausencia de una definición operacional de “enseñanza por investigación” como el abuso de las viñetas en los citados estándares. Shiland (1998) critica su naturaleza a-teórica.

Estas carencias en la modelización de la enseñanza por investigación, y de la enseñanza de la ciencia en general, se manifiestan en un amplio número de preguntas que siguen abiertas:

- ¿Qué entendemos exactamente por investigación? ¿Entendemos por investigación únicamente los procesos hipotético-deductivos que se basan en datos primarios o incluimos, en el otro extremo, cualquier tipo de enseñanza en la que el profesor no pone el conocimiento acabado¹ a disposición de los alumnos? –diferenciación importante que a veces es pasada por alto bajo la prescripción genérica de enseñar mediante la investigación-.
- Por otro lado, si se trata de que los estudiantes actúen como investigadores noveles (Carrascosa, Gil y Valdés, 2005) –lo que nos parece una metáfora útil-, estos (los doctorandos por ejemplo) al igual que los investigadores experimentados, desarrollan la mayor parte de sus conocimientos a través del aprendizaje expositivo. ¿Quiere esto decir que la enseñanza expositiva debe ser considerada parte de la enseñanza por investigación? Y en caso contrario, ¿debe ser descartada en su totalidad?
- Las teorías científicas son utilizadas para resolver problemas reales. Esta actividad es epistemológicamente distinta al proceso de investigación que conduce a su desarrollo. ¿Deberíamos

por tanto excluir la resolución de problemas cuando nos referimos a enseñanza por investigación? -de hecho la resolución de problemas puede acompañar y completar una enseñanza expositiva que se mantiene al margen de la investigación-. ¿O por el contrario, como parecen afirmar algunos investigadores, la enseñanza basada en la resolución de problemas es la enseñanza por investigación o, en cualquier caso, la estrategia a elegir? ¿Qué relación existe entre enseñanza problematizada y enseñanza mediante resolución de problemas?

- ¿Cómo damos el salto entre la auténtica investigación científica y la investigación escolar? ¿Qué criterios seguimos para guiar el diseño de material curricular de un determinado nivel de enseñanza?
- ¿Qué nivel de autonomía conviene otorgar a los alumnos? Si no se puede maximizar al mismo tiempo el aprendizaje de procesos y el de conceptos, ¿qué criterio seguimos?
- ¿En qué medida pueden las TIC facilitar la enseñanza por investigación? ¿Pueden sustituir al uso del laboratorio?

A continuación proponemos algunas ideas para dar respuesta a éstas y a otras preguntas.

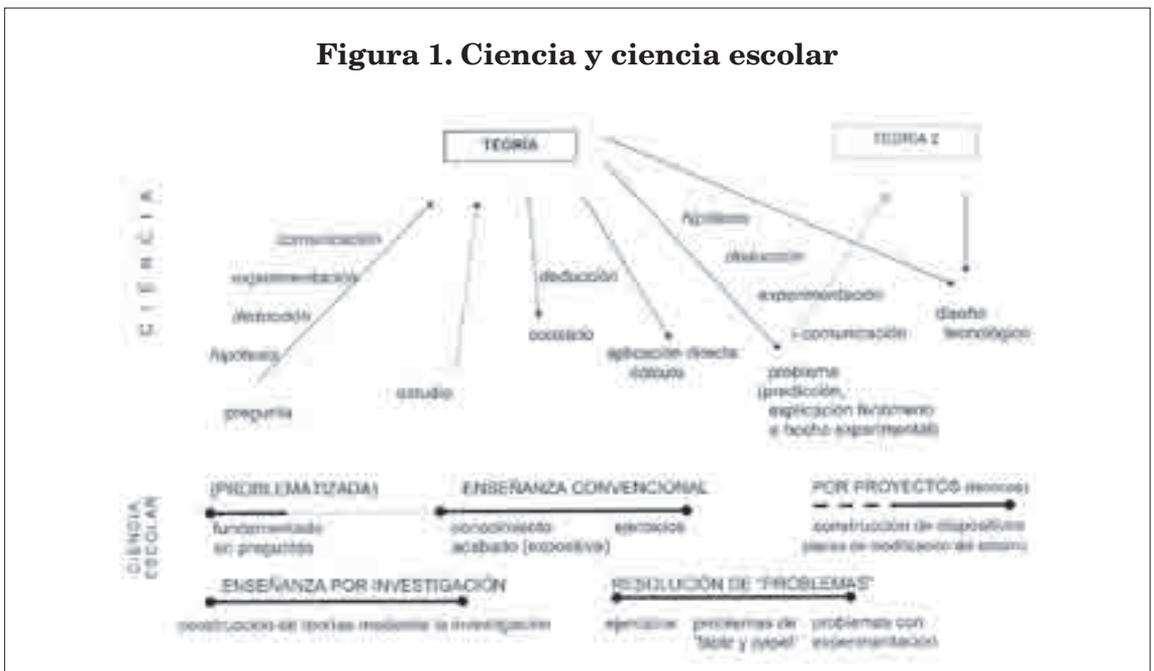
¹ “Ciencia en su forma final” en terminología de Duschl (1990), citado por Sandoval y Reiser (2004).

Ideas a partir del trabajo de los científicos

Veamos primero qué es lo que hacen los científicos. Según la cita de un eminente científico realizada por O'Neill y Polman (2004) -que toman como representativa y es operativa para nuestro propósito cualitativo-, su tiempo se reparte principalmente en:

- Lectura de artículos recientes e históricos.
- Trabajo de comunicación y discusión con otros científicos (oral y escrita).
- Diseño de investigaciones (aislado y colaborativo).
- Trabajo experimental.
- Resolución de problemas.

La figura 1 esquematiza estas actividades y las amplía para incluir el diseño (técnico) - que definimos como el plan detallado de una actividad, generalmente compleja, cuyo fin puede ser un artefacto (p.ej un submarino que pueda descender 5000m) o una intervención en el medio natural (p.ej. un tratamiento médico)-. Además distingue la aplicación deductiva y/o algorítmica de la teoría ("cálculos") de los auténticos problemas (volveremos a esto más adelante), y reconoce en la flecha intermitente que los investigadores recurren con frecuencia a fuentes de conocimiento acabado, bien como herramienta en el curso de una investigación o de forma aislada cuando inician su formación en una nueva área. A partir de esta representación realiza una transposición de



ciencia a ciencia escolar, categorizando a esta según qué etapas del trabajo científico contempla y reproduce: enseñanza convencional (expositiva –o *estudio*- con resolución de ejercicios), por investigación, resolución de problemas y proyectos (técnicos) –o diseños-. Ilustra igualmente como los distintos tipos de enseñanza pueden formularse como enseñanza problematizada, es decir aquella que plantea todo nuevo conocimiento como la respuesta a un interrogante. La enseñanza por investigación y la resolución de problemas lo hacen siempre, y la expositiva casi nunca. Los anteriores tipos de enseñanza no son excluyentes sino que pueden combinarse. Así la enseñanza expositiva puede enriquecerse con actividades de resolución de problemas. Lo mismo se aplica a la enseñanza por investigación.

Hemos mencionado que en el curso de las investigaciones los científicos recurren al conocimiento generado por otros investigadores. Desde esta perspectiva, ¿debemos considerar la enseñanza expositiva como integrante de la enseñanza por investigación? Igualmente, la comunicación es una faceta esencial de la tarea de los científicos. ¿Debemos por tanto considerar toda actividad de comunicación y debate como enseñanza por investigación?

Existen distintas opciones para definir la enseñanza por investigación. Una es contemplar como investigación al conjunto de actividades (que realizan los científicos) encaminadas a construir nuevas teorías, incluida la aceptación por sus pares. Según esto, un aprendi-

zaje de tipo expositivo encaminado a proporcionar una base teórica adecuada a un investigador prospectivo no sería una actividad de investigación. Caso contrario es la lectura de artículos insertada en un proyecto de investigación. De la misma manera no toda actividad de comunicación sería una actividad de investigación, pero sí aquella en la que un científico está intentando convencer a sus compañeros sobre la forma de realizar un experimento. La trasposición, *mutatis mutandis*, a ciencia escolar es inmediata. Por supuesto que en investigación escolar nuevas teorías se refiere a aquellas que lo son para los alumnos. La otra posibilidad es circunscribir la definición de enseñanza por investigación a aquella en la que los alumnos “inventan” nuevo conocimiento a partir de datos de la experiencia (primarios o no) mediante el proceso de la abducción (Burks, 1946) y la contrastación experimental. La ventaja de esta aproximación es que mantiene la separación entre los dos conceptos –enseñanza por investigación y enseñanza expositiva– en lugar de crear un híbrido a partir de ambos. En este caso cabría distinguir entre *enseñanza expositiva aislada* y aquella que se inserta en un proyecto de investigación.

El papel de la enseñanza expositiva

La *problematización* de la enseñanza, asociada de forma inherente a los métodos investigativos, puede y debe ser aplicada a toda la enseñanza –incli-

da la expositiva- teniendo en cuenta la afirmación de Bachelard (1938) de que todo conocimiento es la respuesta a una pregunta. Incluso en los textos que proporcionan directamente el conocimiento acabado este puede presentarse como la respuesta a la pregunta que lo origina. Pressley *et al.* (1992) han encontrado evidencia de que los alumnos mejoran su aprendizaje cuando intentan construir respuestas a preguntas sobre el material que va a ser estudiado y proponen que el mero intento de hallar una respuesta induce al aprendiz a relacionar el nuevo conocimiento con conocimiento anterior.

Un tipo de enseñanza expositiva que presenta similitudes superficiales con la investigación pero que conviene diferenciar, y no siempre se hace, es la que podríamos denominar *enseñanza expositiva abierta*. Esta consiste en resolver un interrogante recurriendo principalmente a fuentes de conocimiento acabado diversas y no determinadas *a priori* (bibliotecas, medios, Internet...). Un ejemplo de esto puede ser averiguar cuáles son los problemas medio ambientales más acuciantes en la ciudad del alumno. Este tipo de enseñanza puede ser de interés en disciplinas o temas en los que es difícil generar o recoger datos experimentales o que el alumno sea capaz de construir nuevo conocimiento a partir de ellos. Algunas propuestas presuntamente basadas en la investigación o en la resolución de problemas resultan en definitiva en poco más que enseñanza expositiva abierta; véase, como ejemplo manifiesto de esto, la pro-

puesta de Chin y Chia (2004, 2006) en la que alumnas de secundaria deben explicar el efecto del fármaco Viagra y distintos nutrientes sobre la impotencia o la relación entre nutrición y crecimiento del cabello.

Conviene quizás aclarar que si bien los científicos recurren con frecuencia al aprendizaje expositivo, incluso fuera de todo contexto investigativo, en el caso de la enseñanza reglada debe ser contemplado con cautela. En general, este tipo de aprendizaje exige una alta motivación intrínseca y un alto nivel metacognitivo, que en muchos casos ni siquiera los estudiantes de universidad –entrenados a asociar aprendizaje con memorización- poseen. Empero el conocimiento acabado que permite avanzar en una investigación o en la resolución de un problema es motivante y significativo, en la medida en que nos ayuda a avanzar en la dirección deseada. La *enseñanza expositiva insertada* presenta sin embargo ciertas limitaciones, tal y como se ha demostrado en la enseñanza basada en problemas –revisaremos esto en el siguiente epígrafe-.

Por otro lado, la enseñanza expositiva habitual en el contexto de la enseñanza reglada adolece de una importante deficiencia adicional. Los científicos conocen perfectamente los mecanismos del quehacer científico y disponen de todas las claves y procesos cognitivos para interpretar el trabajo de otros científicos. Pero una enseñanza expositiva previa a una experiencia sustancial en investigación no proporciona esas claves -el conocimiento procesual e incluso

conceptual sobre la práctica científica, y por lo tanto su aprovechamiento es muy superficial. La implicación es que la enseñanza expositiva por sí misma no es un método de enseñanza de las ciencias válido, y solo puede ser contemplada de manera complementaria aunque necesaria: aprender ciencia a partir de una fuente de conocimiento acabado es una habilidad (científica) que también deben desarrollar los alumnos.

Aprendizaje mediante la resolución de problemas

Respecto a la resolución de problemas conviene también hacer algunas aclaraciones semánticas y conceptuales. Perales (2000) distingue entre ejercicios (aplicación directa), problemas algorítmicos (secuencia de operaciones prefijada), heurísticos (estrategia compleja) y creativos (supeditados a intuiciones del solucionador). En nuestra opinión, coincidente con Pomes Ruiz (1991), es suficiente con diferenciar entre ejercicios (lógica deductiva a partir de una teoría y/o algoritmo y unos datos dados o evidentes) y auténticos problemas que exigen actos de creación (los problemas heurísticos –según los define Perales– también requieren actos de creación). En los problemas auténticos las teorías y los datos no están dados. Esta definición de ejercicios y problemas es paralela a la de problemas bien estructurados y problemas deficientemente estructurados de Shin *et al.* (2003). Es claro que toda enseñanza de las ciencias, incluida por supuesto la enseñanza por investi-

gación, debe incluir la resolución de ejercicios y problemas, lo que es una forma eficaz de operativizar los contenidos (y de evaluar el aprendizaje). Conviene aclarar que la realización de ejercicios, por ejemplo ajustar una reacción química, es también parte del trabajo de los científicos y tiene un papel útil –aunque por supuesto limitado– en el aprendizaje de las ciencias. Estamos por tanto en desacuerdo con Hobden (1998, p. 224) en que éstos deban ser descartados a favor de los auténticos problemas, en exclusiva.

Distinto es la denominada “enseñanza basada en problemas”, que hace referencia habitualmente a la estrategia diseñada originalmente para las facultades de medicina por Barrows y Tamblyn (1980). Esta denominación encubre que la teoría es aprendida de forma expositiva, solo que, como veíamos antes, con una mayor motivación y significado por ser instrumental para la resolución de un problema. La contrapartida es que puede ir acompañada de un aprendizaje más pobre de las ciencias básicas (Finucane *et al.*, 1998; Albanese y Mitchell, 1993), ya que los contenidos no se estructuran de acuerdo con la lógica interna de la disciplina, y de una menor capacidad de transferencia, debido a que el conocimiento conceptual está muy fuertemente vinculado a situaciones concretas (Patel, Groen y Norman, 1993). La resolución de un problema implica la aplicación de teoría, que solo puede ser adquirida mediante su construcción por el propio aprendiz (aprendizaje por investiga-

ción) o —como en este caso- reconstruida a partir de una fuente externa (aprendizaje expositivo).

Una consideración importante que suele ser soslayada es la diferenciación entre problemas cuyo proceso de resolución requiere acudir a la contrastación experimental y aquellos que no. Esta es una decisión subjetiva, pero no arbitraria, que depende de una serie de factores que podemos intentar resumir como la distancia entre el nuevo conocimiento (la solución al problema) y el conocimiento ya existente. Es importante resaltar que la metodología asociada a la resolución del primer tipo de problemas es pareja a la investigación dirigida a la construcción de teorías, con la diferencia de que en el primer caso las hipótesis se refieren a la posible relevancia de una teoría ya existente, mientras que en el segundo inventan nueva teoría. Cabe por tanto catalogar las actividades de investigación como actividades de *investigación teórica* o como *problemas investigativos*².

Modelización de la enseñanza por investigación

Un criterio para clasificar y organizar el amplio abanico de propuestas de enseñanza por investigación existentes

proviene de Schwabb (1960), que diseñó varias estrategias de investigación, diferenciadas según el grado en que los estudiantes son dirigidos. Schwabb propuso tres niveles aunque hay un *continuum* de niveles intermedios. Cuanto más nos aproximemos al primero de ellos más énfasis se podrá depositar en una adquisición eficiente de conceptos. El extremo opuesto prima el aprendizaje metodológico.

1) Los libros de texto son la fuente de las preguntas y de los métodos para investigar las respuestas.

2) Los libros de texto proponen las preguntas y dejan que los alumnos ideen los métodos.

3) Los estudiantes son expuestos a un fenómeno para que incluso las preguntas sean formuladas por ellos.

Herron (1971, citado por Tamir 1998) desarrolló la taxonomía de Schwabb como sigue (Tabla 1).

Por ejemplo la instrucción del Émile de Rousseau (Ruopp y Haavind, 1994) sería un nivel 3. En cambio, el nivel 0 equivale a enseñanza expositiva problematizada (la respuesta y el problema vienen dados).

En la actualidad, Furtak (2006) utiliza un modelo similar, en forma gráfica, que incluye en un extremo al conjunto de la enseñanza expositiva:



² Gil et al. (1999b) afirman que no tiene sentido diferenciar entre teoría y problemas porque ambos pueden y deben ser estudiados de manera investigativa.

³ *Open-ended* en el original.

Tabla 1.

Nivel de descubrimiento	Problema	Formas y medios	Respuesta
0	dado	dado	dado
1	dado	dado	abierto
2	dado	abierto	abierto
3	abierto	abierto	abierto

Volviendo a la propuesta de Schwabb-Herron (tabla 1), parece conveniente considerar un parámetro adicional que es la utilización de datos primarios, - generados por los propios estudiantes-, o exclusivamente de datos secundarios -obtenidos por otros científicos-⁴. El trabajo con datos secundarios forma parte del trabajo científico y es contemplado en los ejemplos y estudios de caso del *National Research Council* y son usados con fines ejemplificantes por muchos investigadores como O'Neill y Polman (2004), Chin y Chia (2006, 2004), Songer (1998), Edelson (1998). Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) pueden jugar un papel muy relevante en este sentido, tanto como instrumento de simulación de experimentos (Gil, Carrascosa y Martínez Torregrosa, 1991), como fuente de datos experimentales secundarios

(véase O'Neill y Polman, 2004). No obstante, encontramos que la enseñanza por investigación basada en datos secundarios requiere, para su total comprensión y aprovechamiento, estar familiarizado con el trabajo investigativo en el que se generan los datos primarios; en su defecto el estudiante tomará los datos como algo exacto y aporofemático y quedará alienado del problema de la medida. Algo similar ocurre con la enseñanza por investigación con un alto nivel de dirección: no propicia el desarrollo de ciertos procesos básicos de la ciencia tales como hacerse preguntas o concebir estrategias experimentales. Es decir la enseñanza por investigación con elevada autonomía del alumno y mediante la generación de datos primarios es la base sobre la que se deben articular los otros métodos de enseñanza de las ciencias, pero no es necesario

⁴ Esta terminología es también usada por otros investigadores (Chinn y Chia 2006). Los datos secundarios pueden a su vez ser clasificados en *directos* -tal y como se obtienen de los instrumentos o mínimamente manipulados para hacerlos inteligibles y universales-, *modificados* -obtenidos a partir de datos *directos* mediante la utilización de teoría pero de forma aporofemática-, y *simplificados* -es decir manipulados para hacerlos más fácilmente inteligibles pero con pérdida sustancial de información, por ejemplo un atlas anatómico escolar-.

—ni conveniente en interés de la eficiencia— que participe en todas las unidades o secuencias.

Modificando el modelo de Schwabb-Herron, de acuerdo con lo que antecede, tenemos la categorización de la tabla 2:

Tabla 2.

Nivel invest.⁵	Problema	Formas y medios	Respuesta	Datos
0	dado	dado	dado	-
1s	dado	dado	abierto	secundarios
1p	dado	dado	abierto	primarios
2s	dado	abierto	abierto	secundarios
2p	dado	abierto	abierto	primarios
3s	abierto	abierto	abierto	secundarios
3p	abierto	abierto	abierto	primarios

En este modelo las estrategias superiores son tan solo plenamente operativas cuando el alumno tiene suficiente experiencia con las inferiores. Por ejemplo —como apuntábamos antes— la interpretación de datos secundarios es deficiente cuándo el alumno no ha generado datos primarios y no se ha enfrentado al problema de la medida. De la misma manera, la interpretación de los contenidos a partir de una enseñanza expositiva es limitada en ausencia de una suficiente participación en actividades de investigación, ya que solo estas forman a los alumnos de manera eficaz acerca de la naturaleza de la ciencia. Todo esto implica que cualquier estudiante deberá tener ocasiones de realizar investigaciones de tipo 3p, aunque deberán, por

razones ya apuntadas, ser alternadas con las estrategias de los otros niveles. Conviene matizar sin embargo que una investigación de tipo abierto tendrá sentido siempre y cuando sea plausible que los alumnos pueden avanzar en la misma y generar algún nuevo conocimiento (Martínez Torregrosa, Gil, y Martínez Sebastià, 2003).

Desde el punto de vista educativo es también conveniente distinguir —dadas las distintas capacidades de abstracción requeridas— entre aquella investigación que pretende describir los fenómenos y encontrar regularidades (por ejemplo en el movimiento del sol en el cielo), y la que pretende explicarlos recurriendo al método hipotético-deductivo (el modelo de Copérnico, por ejemplo)⁶.

⁵ Hemos actualizado el término descubrimiento por investigación.

⁶ La conceptualización de la diferencia entre teoría descriptiva y teoría explicativa estaba ya plenamente desarrollada entre los científicos del siglo XVIII. Por ejemplo a la óptica geométrica o a la teoría de los colores de Newton se las reconocía como teorías descriptivas, mientras que a las teorías de la luz de partículas y de ondas —de Gassendi/Newton y de Huygens/Euler respectivamente— se las consideraba teorías explicativas (Hakfoort, 1995).

Otros parámetros del diseño curricular

La comunicación y debate de resultados no sólo constituyen habilidades esenciales del trabajo científico, que es necesario aprender, sino que han demostrado ser una herramienta importante para el desarrollo de las habilidades metacognitivas (Meloth y Deering, 1994). Son muchos los investigadores que comparten que la naturaleza cooperativa del trabajo científico debe manifestarse de forma sistemática en el aula (Martínez Ruiz y Sauleda Parés, 1997; Cohen 1994, Kempa and Ayob 1995, Saunders 1992). Sin embargo es en el contexto de una investigación, colaborativa, donde la retroalimentación y la comunicación se hacen más realistas y de un carácter muy diferente de la que es posible propiciar en la enseñanza expositiva (American Association for the Advancement of Science, 1990).

Otra cuestión fundamental en el diseño curricular es cómo adecuar el material al “nivel” de los alumnos. Es habitual que en los modelos de enseñanza por investigación –o de cualquier otro tipo- se obvien o no se hagan intervenir de manera fundamentada las capacidades y limitaciones procesuales de los alumnos (Lawson, 1993; Marín, 2003; Shayer y Adey, 1984, 1981). Es claro que aquí los conceptos de formas científicas y no científicas de razonar, heurísticas cotidianas, metodología del sentido común, epistemología implícita, etc. sirven de poco. La única herramienta (cuantitativa) con que contamos no

es otra que la desatendida epistemología genética (Lawson, 2004; Shayer y Adey, 1984, 1981; Piaget, 1969), que nos permite identificar qué objetivos y actividades son idóneos (estadísticamente) para los distintos niveles de enseñanza y (precisamente) para determinados alumnos. Una estrategia de enseñanza por investigación que no esté firmemente anclada en la epistemología genética adolecerá inevitablemente de un marcado déficit teórico. Estamos por lo tanto enfáticamente de acuerdo con Gil *et al.* (1999a) en la necesidad de recuperar a Piaget.

Referencias bibliográficas

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N.G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. y Tuan, L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88 (3), 397-419.
- Albanese, M.A. y Mitchell, S. (1993). Problem-based learning: a review of literature on its outcomes and implementation issues. *Academic Medicine*, 68(1), pp. 52-81.
- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy*. Nueva York: OUP.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1990). *Science for all Americans*. Nueva York: OUP. E n <http://www.project2061.org>

- Anderson, R.D. (2002). Reforming Science Teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12.
- Bachelard, G. (1938). La formation de l'esprit scientifique. Paris: Vrin.
- Barrows H. y Tamblyn, R. (1980). *Problem-based learning: an approach to medical education*. New York: Springer.
- Burks, A.W. (1946). Peirce's Theory of Abduction. *Philosophy of Science*, 13(4), 301-306.
- Campanario, J.M. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.
- Carin, A. y Sund, R. B. (1967). *La enseñanza de las ciencias por el descubrimiento*. México: Uthea.
- Carrascosa, J., Gil, D. Y Valdés, P. (2005). El problema de las concepciones alternativas, hoy. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 18, 41-63.
- Chin, C. y Chia, L-G. (2006). Problem-based learning: Using ill-structured problems in biology project work. *Science Education*, 90(1), 44-67.
- Chin, C. y Chia, L-G. (2004). Problem Based Learning: Using students' questions to drive knowledge construction. *Science Education*, 88(5), 707-727.
- Cohen, E. G. (1994) Restructuring the classroom: conditions for productive small groups. *Review of Educational Research*, 64, pp. 1-35.
- Council of Ministers of Education, Canada. (1997). *Common framework of science learning outcomes*. Ottawa: Pan-Canadian Protocol for Collaboration on School Curriculum.
- Dewey, J. (1910/1964). Science as a subject matter and as a method. En R.D. Archambault (Ed.), *John Dewey on education* (pp 182-192). Chicago: University of Chicago Press.
- Duschl, R. A. (1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teachers College Press.
- Edelson, D.C. (1998). Realising authentic science learning through the adaptation of science practice. En B. J. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 317-331). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Finucane, P.M., Johnson, S.M. y Prideaux, D.J. (1998). Problem-based learning: its rationale and efficacy. *Medical Journal of Australia* 168, 445-448.
- Furtak, E.M. (2006). The problem with answers: An exploration of guided scientific inquiry teaching. *Science Education*, 90(3), 453-467.
- Garcia, J.J. y Cañal, P. (1995). ¿Cómo enseñar?: Hacia una definición de las estrategias de enseñanza por investigación. *Investigación en la escuela*, 25, 5-16.
- Gil, D., Carrascosa, J. y Martínez Torregrosa, J. (1991). Diseño de unidades didácticas concretas: Los programas-guía de actividades. En *Cuadernos de Educación*, n° 5, Barcelona: ICE-Horsori.

- Gil Pérez, D., Carrascosa, J., Dumas Carré, A., Furió, C., Gallego R., Gené, E., González, E. (1999a). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512.
- Gil Perez, D., Furio Mas, C., Valdes, P., Salinas, J., Martinez-Torregrosa, J., Guisasola, J., Gonzalez, E., Dumas-Carre, A., Goffard, M. y Pessoa de Carvalho, A. M. (1999b). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-20.
- Gil Perez, D., Gavidia Catalán, V., Vilches Peña, A. Y Martinez Torregrosa, J. (1998). La educación científica ante las actuales transformaciones científico-tecnológicas. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 12, 43-63.
- Hakfoort, C. (1995). *Optics in the Age of Euler: Conceptions of the Nature of Light, 1700-1795*, Cambridge University Press.
- Harlen, W. (1992). Research and the development of science in the primary school. *International Journal of Science Education*, 14(5), 491-503.
- Harlen, W. (1989). *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Morata.
- Harlen, W. (1983). Basic concepts and the primary-secondary interface. *European Journal of Science Education*, 5(1), 25-34.
- Herron, M.D. (1971). The nature of scientific inquiry. *School Review*, 79, 171-212.
- Hobden, P. (1998). The role of routine problem tasks in science teaching. En B.J. Fraser, and K.G. Tobin, (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 219-232). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Kempa, R. F. y Ayob, A. (1995) Learning from group work in science. *International Journal of Science Education*, 17, 743-754.
- Lawson, A.E. (2004). The nature and development of scientific reasoning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 207-338.
- Lawson, A.E. (1993). Inductive-deductive vs. hypothetico-deductive reasoning: A reply to Yore. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 613-614.
- Marín, N. (2003). *La enseñanza de las ciencias en Primaria*. Grupo Editorial Universitario.
- Martínez Ruiz, M.A. y Sauleda Parés, N. (1997). The professional development of teachers by means of the construction of collaborative thinking. *Journal of In-service Education*, 23(2), 241-252.
- Martínez Torregrosa, J. (2001). *Proyecto docente*. Universidad de Alicante.
- Martínez Torregrosa, J., Gil, D. y Martínez Sebastià, B. (2003). La universidad como nivel privilegiado para un aprendizaje como investigación orientada. En C. Menereo y J.I. Pozo, *La universidad ante la nueva cultura educativa. Enseñar y aprender para*

- la autonomia* (pp. 231-244). Madrid: Síntesis.
- Meloth, M.S. y Deering, P.D. (1994). Task talk and task awareness under different cooperative learning conditions. *American Educational Research Journal*, 31(1), 138-165.
- National Research Council. National Academy of Sciences. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning* Washington D.C.: National Academy Press.
- National Research Council. National Academy of Sciences (1995). *National Science Education Standards*. Washington D.C.: National Academy Press.
- O'Neill, D.K. Y Polman J.L. (2004). Why educate "little scientists". Examining the potential of practice bases science literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(3), 234-266.
- Patel, V.L., Groen, G.J. y Norman, G.R. (1993). Reasoning and Instruction in Medical Curricula. *Cognition and Instruction*, 10(4), 335-378.
- Perales, F.J. (2000). La resolución de problemas. En F.J. Perales y P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 289-306), Alcoy: Marfil.
- Piaget, J. (1969). *Psicología y pedagogía*. Barcelona: Ariel.
- Pomes Ruiz, J. (1991). La metodología de resolución de problemas y el desarrollo cognitivo: un punto de vista post-Piagetiano. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 78-82.
- Pressley, M., Wood, E., Woloshyn, V.E., Martin, V., King, A. y Menke, D. (1992). Encouraging Mindful Use of Prior Knowledge: Attempting to Construct Explanatory Answers Facilitates Learning. *Educational Psychologist*, 27(1), 91-109.
- Rowell, P. y Ebbers, M. (2004). Shaping school science: competing discourses in an inquiry-based elementary program. *International Journal of Science Education*, 26(8), 915-934.
- Ruopp, R. y Haavind, S. (1994). From Current Practice to Projects. En R. Ruopp (Ed.), *LabNet: Toward a community of practice* (pp. 21-58), Lawrence Erlbaum Associates.
- Sandoval, W.A. y Reiser, B.J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88(3), 345 - 372.
- Saunders, W.L. (1992) The constructivist perspective: implications and teaching strategies for science. *School Science and Mathematics*, 92, 136-141.
- Schwabb, J. (1960). What do scientists do? *Behavioural science*, (5)1.
- Shayer, M. y Adey, P.S. (1984). *La ciencia de enseñar ciencia. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea.
- Shayer, M. y Adey, P.S. (1981). *Towards a science of science teaching*. London: Heinemann.
- Shiland, T.W. (1998). The atheoretical nature of the NSES. *Science Education*, 82, 615-617.

- Shin, N., Jonasse, D.H. y McGee, S. (2003). Predictors of well-structured and ill-structured problem solving in an astronomy situation. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(1), 6-33.
- Shulman, L.S. y Keislar, E.R. (1974). *Aprendizaje por descubrimiento: Evaluación crítica*. Editorial Trillas.
- Songer, N.B. (1998). Can technology bring students closer to science? En B.J. Fraser and K.G. Tobin, (Eds.), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Stepanek, J. (2001). Connecting students to science and the world. *Northwest teacher*, 9.
- Tamir, P. (1998). Assessment and evaluation in science education: Opportunities to learn and outcomes. En B.J. Fraser and K.G. Tobin, (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 761-790). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- UNESCO (1973/78). *Nuevo manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias*. Barcelona: Edhasa.
- Wallace, C.S. (2004). Framing new research in science literacy and language use: authenticity, multiple discourses and the third space. *Science Education*, 88, 901-914.