

# UN MODELO TAXONÓMICO DE LAS ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA DE LA CIENCIA COMO INSTRUMENTO DE FORMALIZACIÓN DEL METALENGUAJE DEL DISEÑO DIDÁCTICO

NAVARRO PASTOR, MANUEL

Departamento de Didáctica General y Específica. Universidad de Alicante  
manuel.navarro@ono.com

**Resumen.** Este escrito propone una formalización del lenguaje empleado para referir a las actividades de enseñanza de la ciencia. Consiste en un modelo taxonómico que pretende diferenciar e integrar el conjunto de las actividades de esta índole y posibilitar la categorización, de forma unívoca, de cualquier propuesta concreta. A modo de valoración e ilustración el modelo es aplicado a diversos diseños curriculares. De confirmarse la funcionalidad del modelo para representar el conjunto de las actividades de enseñanza de la ciencia, se habrá facilitado la comunicación entre especialistas así como el desarrollo de una teoría didáctica. Se incluye un glosario para comodidad del lector.

**Palabras clave.** Enseñanza por investigación, enseñanza basada en problemas, enseñanza expositiva, modelo, taxonomía.

## A taxonomic model for science teaching activities as a means to formalize the meta-language of didactic design

**Summary.** In this paper it is proposed a formalization of the lexicon used in the description of science teaching activities. It consists of a taxonomic model that intends to differentiate and integrate coherently the set of all of these activities and enable the categorisation of any specific proposal. For the purposes of evaluation and illustration the model is applied to a number of designs. If the model's functionality to represent the set of all science teaching activities is confirmed it should facilitate communication between specialists as well as the development of a didactics theory. For convenience, a glossary is included.

**Keywords.** Inquiry based learning, problem based learning, expositive teaching, model, taxonomy.

## INTRODUCCIÓN

El estatus epistémico de la Didáctica de las Ciencias sostiene un animado y erudito debate (cf.<sup>1</sup> Izquierdo, 2007; Niaz et al., 2003; Gil-Pérez et al., 2002; Porlan, 1998). La intención de este escrito –aunque relacionada con aquél– es mucho más modesta, al incidir en la insuficiente formalización del metalenguaje asociado al diseño didáctico. Así por ejemplo, en los textos académicos conviven distintas definiciones de investigación y de enseñanza por investigación<sup>2</sup> (Furtak, 2006; Navarro Pastor, 2006; Wallace y Kang,

2004; Anderson, 2002) y lo mismo sucede con el concepto de problema y las metodologías de enseñanza basadas en problemas (Navarro Pastor, 2006). Consecuentemente, el objetivo de este trabajo ha consistido en desarrollar un modelo taxonómico que diferencie e integre –de forma coherente y completa– el conjunto de las actividades de enseñanza de la ciencia<sup>3</sup>, formalizando de esta manera el lenguaje utilizado para referirse a los distintos tipos de diseño. Para mayor comodidad del lector se adjunta un glosario.

### CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Para cartografiar las distintas modalidades de enseñanza de la ciencia partimos de la propuesta de Navarro Pastor (2006) que representa, de forma necesariamente simplista, el trabajo de los científicos. Muestra la actividad científica dividida en dos categorías epistemológicamente diferenciadas: la construcción de teorías (descriptivas o explicativas<sup>4</sup>) mediante la investigación –lo que supone un «ascenso» en abstracción y generalidad– y su utilización para explicar o predecir hechos, o para realizar diseños tecnológicos, que supone un itinerario de tipo inverso. Asimismo, reconoce cómo los científicos, ontogenéticamente, llegan al conocimiento de las teorías de forma habitual mediante el estudio. Por otro lado, diferencia la utilización de teoría que sigue procesos esencialmente deductivos y/o algorítmicos –desarrollo de corolarios, problemas de aplicación directa o «cálculos»–, de la que se enfrenta a situaciones abiertas que, al igual que la construcción de teorías, implican el proceso inverso de la abducción –problemas (auténticos)<sup>5</sup> y diseños (técnicos)<sup>6</sup>–. Es importante resaltar que la metodología asociada a la resolución de problemas y al desarrollo de diseños es pareja a la involucrada en la construcción de teorías, con la diferencia de que en el primer caso las hipótesis se refieren a la posible vinculación de conocimiento teórico disponible con el fenómeno (cf. Izquierdo et al., 1999, p. 48) –interpretación de la teoría–, mientras que en el segundo inventan nueva teoría. En ocasiones la resolución de un problema puede dar lugar al desarrollo de nueva teoría si se comprueba que la existente no es adecuada. Así pues, el concepto de investigación puede referirse tanto a la resolución de problemas (que denominamos problemas investigativos) y a la elaboración de diseños (que denominamos investigación técnica o diseño investigativo indistintamente), como a la construcción de teorías (que denominamos investigación teórica)<sup>7</sup>.

La representación anterior del trabajo científico puede ser utilizada provechosamente para realizar una transposición de ciencia a ciencia escolar, categorizando a ésta según los contenidos de la actividad científica que reproduce –desarrollo de teoría, aplicación directa de teoría, resolución de problemas y diseños técnicos– y según el tipo de proceso que utiliza para construirlos –investigación, reflexión (que incluye la deducción; lo definiremos más adelante) y estudio o reconstrucción de conocimiento acabado<sup>8</sup>.

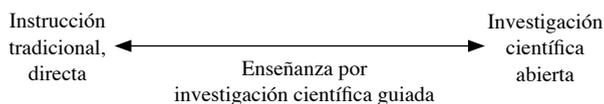
En primer lugar, estudiaremos con mayor detalle los distintos procesos de construcción del conocimiento, en su transposición escolar, para luego cruzarlos con los contenidos de la ciencia que ya hemos definido y constituir así la matriz que representa el modelo propuesto.

Un criterio para clasificar y organizar, en un determinado plano, el amplio abanico de propuestas existentes de aprendizaje-enseñanza por investigación proviene de Schwabb (1960, citado por *National Research Council*, 2000, pp. 15-16), que diseñó varias estrategias de investigación, diferenciadas según el grado de autonomía de

los alumnos. Schwabb propuso tres niveles aunque hay un *continuum* de niveles intermedios:

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.

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



Herron (1971, citado por Tamir, 1998) desarrolló la taxonomía de Schwabb en la misma dirección, pero de manera más precisa (Tabla 1).

Tabla 1

NIVEL DE DESCUBRIMIENTO	PROBLEMA	FORMAS Y MEDIOS	RESPUESTA
0	dado	dado	dado
1 <sup>o</sup>	dado	dado	abierto
2	dado	abierto	abierto
3 <sup>10</sup>	abierto	abierto	abierto

El modelo de Herron puede ser desarrollado de forma útil incorporando un parámetro adicional consistente en la utilización de datos primarios, generados por el propio investigador, o exclusivamente de datos secundarios (generados por otros científicos, tales como mapas del tiempo o datos astronómicos)<sup>11</sup>. Si bien la utilización de datos secundarios es algo habitual en la ciencia y legítimo en la enseñanza, conviene realizar esta distinción, ya que la generación de datos primarios –que implica la manipulación de instrumentos, la toma de medidas y la manipulación de los datos empíricos–<sup>12</sup> permite de forma exclusiva el aprendizaje de algunos procesos y meta-conceptos básicos de la ciencia (p. ej. la problematización de la medida).

Podemos observar que el nivel 0, en el que la respuesta es dada al alumno, pertenece al ámbito de la enseñanza expositiva. Sin embargo, al contrario que en la enseñanza expositiva habitual –que denominamos *expositiva directa*–, aquí se plantea el interrogante que origina el nuevo conocimiento, por lo que denominamos a este tipo de

enseñanza *expositiva problematizada*<sup>13</sup>. A su vez, subdividimos ésta en *a priori*, cuando los contenidos son precedidos por la pregunta que les da origen, y *a posteriori* cuando se interroga a los alumnos acerca de la teoría una vez que ésta ha sido expuesta<sup>14</sup>.

Los tipos de enseñanza expositiva ya descritos –en los que los medios son dados– los denominamos cerrados en contraposición a lo que llamamos enseñanza expositiva abierta, en la que las fuentes de conocimiento acabado no son identificadas por el profesor y el alumno debe buscarlas en la biblioteca, Internet, medios de comunicación, etc. (esta estrategia es categorizada frecuente y, a nuestro entender, equívocamente como enseñanza por investigación o como enseñanza basada en problemas –veremos algún ejemplo más adelante–). La enseñanza expositiva abierta puede asimismo ser directa (p. ej. «Escribe un ensayo sobre la contaminación del aire») o problematizada (p. ej. «Averigua cuáles son los problemas medioambientales más importantes de tu ciudad»).

Queda por definir un importante tipo intermedio de enseñanza (entre la expositiva y la investigativa) –que denominamos reflexiva– refiriéndonos a toda aquella en la que el alumno construye<sup>15</sup> el conocimiento pero en la que no necesita concebir<sup>16</sup> y obtener datos (primarios o

secundarios). Es decir, en estas actividades los datos o bien son innecesarios, o son conocidos por los alumnos, o son puestos a su disposición, o tan sólo necesitan generarse siguiendo instrucciones precisas –en cuyo caso se trata de enseñanza reflexiva empírica–. Ejemplos de esto es pedir a los alumnos que reflexionen sobre qué pasaría si no tuviéramos esqueleto o sobre las posibles causas de las fases de la Luna, que resuelvan el típico problema de lápiz y papel en el que todos los datos vienen dados en el enunciado, que deduzcan un corolario de una ley o que realicen un experimento predeterminado e interpreten los resultados. Es interesante observar que la enseñanza reflexiva abunda en los libros de texto del primer ciclo de primaria, tomando generalmente la forma de preguntas referidas a los contenidos de las ilustraciones. En la tabla 2 incorporamos las consideraciones anteriores y damos nombre a los tres niveles de la enseñanza por investigación<sup>17</sup>.

Alcanzado este nivel de formalización, podemos cruzar los tipos de enseñanza que hemos definido (coordenada vertical) con las categorías epistemológicas mediante las que hemos representado los contenidos de la ciencia (coordenada horizontal), para dibujar una matriz que constituye la formulación final del modelo (Tabla 3). A modo de ejemplo, hemos insertado algunas estrategias de enseñanza acuñadas<sup>19</sup>.

Tabla 2

TIPO DE ENSEÑANZA		PREGUNTA	FORMAS Y MEDIOS	DATOS (EXPERIMENTALES)	RESPUESTA	
expositiva	cerrada	directa	-	dado	-	dado
		problematizada (a priori o a posteriori)	dado	dado	-	dado
	abierta	directa	-	abierto	-	dado
		problematizada	dado <sup>18</sup>	abierto	-	dado
reflexiva		dado	dado	innecesarios o dados	abierto	
investigativa	guiada	dado	dado	secundarios	abierto	
				primarios		
	orientada	dado	abierto	secundarios	abierto	
				primarios		
	abierta	abierto	abierto	secundarios	abierto	
				primarios		

Tabla 3

CONTENIDOS TIPO DE ENSEÑANZA		TEORÍA		EJERCICIOS	PROBLEMAS (CIENTÍFICOS)	DISEÑOS (TÉCNICOS)
		Descriptiva	Explicativa			
Expositiva (aislada o insertada) <sup>20</sup>	cerrada	directa	clase magistral, libro de texto <sup>21</sup> demostración <sup>22</sup>	demostración		demostración
		problematizada (a priori/a posteriori)		demostración		demostración
	abierta	directa				
		problematizada	webquests			
Reflexiva (puede utilizar datos 1.ºs o 2.ºs)				cálculos	problemas de “lápiz y papel” <sup>23</sup>	proyecto <sup>24</sup>
Investigativa		guiada datos 1.ºs o 2.ºs		25		proyecto
		orientada datos 1.ºs o 2.ºs				proyecto
		abierta datos 1.ºs o 2.ºs				proyecto

Podemos observar que el modelo propuesto realiza una diferenciación e integración del conjunto de las actividades de enseñanza-aprendizaje de la ciencia de la manera característica de los sistemas taxonómicos, es decir, lo subdivide en subconjuntos disjuntos entre cualesquiera dos quedan determinadas las diferencias y coincidencias.

Por completitud, nos referiremos también al popular concepto de *práctica(s)*, definiéndolo como el aprendizaje de procedimientos<sup>26</sup> mediante su realización, en general, reiterada. Por tanto, *práctica(s)* puede referirse a la realización de *ejercicios* de “lápiz y papel” así como al aprendizaje de procedimientos instrumentales<sup>27</sup>. Las prácticas consistentes en el desarrollo de habilidades instrumentales no construyen teoría ni la aplican a situaciones concretas. Por lo tanto, constituyen un tipo de actividad científica sui géneris que es adicional a las descritas en la tabla. De acuerdo con lo anterior proponemos diferenciar lo *procesual* de lo *procedimental* restringiendo el uso del último a la realización de procedimientos (tal y como se definen en la nota 26).

Queda por incorporar el concepto de proyecto, que es utilizado con frecuencia en la literatura especializada. Los investigadores del grupo CoVis (2008) lo definen como:

*La involucración de un individuo o grupo en una actividad profunda y a largo plazo que redunde en nuevo conocimiento y/o nuevos artefactos.*

Ésta es una definición muy amplia que puede, por ejemplo, abarcar el seguimiento rutinario de todo un curso

académico. Por otro lado, es confusa ya que indica que el proyecto no es la propia actividad sino la involucración en ella. Además deja fuera las intervenciones en el medio natural. Y sobre todo echamos en falta un elemento fundamental de todo proyecto, el concepto de objetivo: todo proyecto queda definido por un objetivo global que guía e integra el diseño y ejecución de todas las actividades. Consecuentemente, proponemos la siguiente alternativa:

*Proyecto es un conjunto amplio y prolongado de actividades concebidas y ejecutadas para alcanzar un objetivo. En el ámbito de la ciencia y la tecnología éste puede ser nuevo conocimiento, un artefacto o una intervención en el medio natural.*

Este concepto es perfectamente integrable en nuestro modelo, pudiéndose aplicar a la mayoría de estrategias con tal de que las actividades sean guiadas por un objetivo explícito y suficientemente ambicioso. Como ya hemos mencionado, su utilización es particularmente idónea para los diseños, especialmente los de carácter investigativo.

Se ha podido observar en los ejemplos dados, que si bien el modelo ha sido concebido para la categorización de actividades (nivel micro<sup>28</sup> del diseño curricular) también sirve para clasificar secuencias de enseñanza (nivel medio) e incluso estrategias de enseñanza –las secuencias suelen ser representativas de la estrategia empleada–. En la aplicación a estas estructuras de mayor complejidad la clasificación, lógicamente, suele ser más compleja. Veremos ejemplos de aplicación tanto a nivel micro como medio en el apartado de aplicación del modelo.

## DISCUSIÓN SOBRE LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DEL MODELO

Los distintos binomios de la tabla 3 –más los conceptos de *práctica* y *proyecto*– constituyen las distintas categorías definidas por el modelo que, en principio, abarcan a todas las actividades de enseñanza de la ciencia, lo que satisfaría nuestro objetivo. Sin embargo, parece oportuno hacer algunas reflexiones sobre la relevancia de los distintos elementos:

– A pesar de la ubicuidad de la *enseñanza expositiva directa* en la “enseñanza real”, parece justificado desaconsejar toda enseñanza expositiva –y en general toda enseñanza– *no problematizada* (Navarro Pastor, 2006; Lijnse y Klaasen, 2004, p. 539). De hecho, las secuencias de aprendizaje propuestas por investigadores comparten de forma general el planteamiento problematizado de los contenidos científicos (Méheut y Psillos, 2004), tanto si son de carácter investigativo como expositivo (generalmente abierto).

– La aplicación de la enseñanza expositiva a los problemas es limitada, ya que son procesos abiertos cuyo aprendizaje se basa esencialmente en su realización por parte del alumno. Sin embargo, en el caso de los *ejercicios* es habitual, y en muchos casos conveniente, que sean realizados por el docente de forma ejemplificante. Conviene aclarar que la realización de *ejercicios*, por ejemplo ajustar una reacción química, es también parte del trabajo de los científicos y estamos por lo tanto en desacuerdo con Hobden (1998, p. 224) en que aquéllos deban ser descartados a favor de los auténticos problemas en exclusiva. En cuanto a los diseños, la enseñanza expositiva de los mismos juega un papel fundamental en los estudios técnicos, como las ingenierías y la medicina.

– Los tres binomios de enseñanza investigativa-ejercicios carecen patentemente de significado (por definición los ejercicios se resuelven mediante una aplicación deductiva de la teoría).

– Existe un orden epistemológico en la tabla 3 en las dos direcciones: de izquierda a derecha y de abajo arriba. En dirección horizontal: 1) para resolver un problema hay que conocer primero la(s) teoría(s) implicada(s); 2) dentro del ámbito de lo teórico, las teorías descriptivas son previas a las explicativas, filogenética y ontogenéticamente. La comprensión, y más aún la invención, de teorías explicativas exige la utilización de operaciones más avanzadas que para las descriptivas. En dirección vertical, cuanto más abajo más amplio es el conjunto de habilidades científicas que se involucran y, por tanto, se forman.

– La diferenciación entre aprendizajes científicos descriptivos y explicativos es muy utilizada, entre otros, por los pospiagetianos a partir de Peel (Sutherland, 1992). Según éstos, el aprendizaje descriptivo es idóneo para primaria mientras que el explicativo lo es tan sólo para secundaria (una vez alcanzado el pensamiento operacional formal). Esto implicaría que la relevancia de toda la columna *teoría explicativa* es muy limitada cuando apliquemos el modelo a la enseñanza primaria.

– Frente a los demás tipos de investigación, en la *investigación teórica explicativa* el proceso de abducción es de mayor abstracción y el proceso de falsación más complejo, por lo que este tipo de enseñanza exige un alto nivel de guía y un material curricular muy bien estructurado (mostramos un ejemplo más adelante). Por lo tanto, parece de escasa relevancia la *enseñanza investigativa teórica explicativa orientada y abierta*, al menos en las etapas inferiores.

– Comentábamos más arriba que el método investigativo puede aplicarse tanto a la enseñanza de teoría como a la resolución de problemas o a los diseños. Sin embargo, aunque la investigación encaminada a construir nuevas teorías y la enfocada a resolver problemas o realizar diseños son en una primera aproximación metodológicamente similares, es conveniente diferenciarlas desde el punto de vista educativo. En primer lugar porque es importante que el alumno –y el profesor– sepan qué es lo que están haciendo (ascenso meta). Más instrumentalmente, porque la resolución de problemas y los diseños enseñan a utilizar la teoría de la disciplina pero no sirven para que los alumnos la aprendan, a menos que ésta se inserte de forma expositiva –abierta o no– en el proceso de resolución del problema o de desarrollo del diseño. De hecho esto es lo que sucede de forma habitual en las estrategias basadas en problemas o en diseños con resultados variables –veremos ejemplos más adelante–. La National Academy of Sciences (2007, p. 286) distingue perfectamente entre procesos de aprendizaje consistentes en la construcción de teorías de aquellos consistentes en su aplicación (problemas, diseños técnicos).

– Como ya hemos adelantado al comentar la tabla 3, conviene distinguir entre *enseñanza expositiva aislada* –que suele estructurar la mayor parte de los programas académicos– y *enseñanza expositiva insertada en la investigación o reflexiva (teórica, problemas o diseños)*. En el curso de una investigación científica es corriente que los investigadores recurran al conocimiento acabado producido por otros especialistas y por lo tanto esta actividad es propia de los proyectos de investigación. Otra cosa es el estudio como proceso de formación al margen de un proyecto de investigación concreto. Ambas estrategias son legítimas en ciencia y en ciencia escolar, pero presentan ventajas y limitaciones diferentes al ser utilizadas en la enseñanza, donde siempre hay que garantizar que los estudiantes cuentan con el bagaje cognitivo necesario para enfrentarse a la situación expositiva con éxito.

La «enseñanza basada en problemas» (PBL) como estrategia curricular fue desarrollada inicialmente en el contexto de la educación médica por Barrows y Tamblyn (1980, citado por Edelson, 1998) y supone *el aprendizaje expositivo abierto problematizado de teoría insertado en la resolución investigativa de problemas y diseños*. Esta iniciativa ha contado con una notable aceptación en las facultades de medicina –la autenticidad de la actividad de aprendizaje y la motivación del alumno son altas– pero, entre otros inconvenientes, se ha observado una menor capacidad de transferencia, debido a que el conocimiento conceptual está muy fuertemente vinculado a situaciones concretas (Patel, Groen y Norman, 1993) y que va 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. Parece pues oportuno que en la *enseñanza expositiva insertada* los contenidos involucrados sean complementarios y de una profundidad conceptual escasa, bien en sí mismos o porque enlacen directamente con los conocimientos previos de los alumnos. En los demás casos el cuerpo principal de la teoría deberá aprenderse por otros medios (de forma *investigativa* o *expositiva aislada*).

### EL SIGNIFICADO DE *INQUIRY*

En los escritos de didáctica de la ciencia en castellano es habitual traducir *inquiry* por investigación e *inquiry based teaching* por enseñanza por investigación. Sin embargo, si recurrimos a los textos originales podemos observar que es habitual que bajo este concepto se incluyan estrategias de *enseñanza expositiva abierta problematizada*, además de las *reflexivas* y las auténticamente *investigativas* (Navarro Pastor, 2006). Por lo tanto, proponemos traducir el término *inquiry based teaching* por *enseñanza indagatoria*, entendiendo por ésta la enseñanza formulada de forma problematizada que no pone el conocimiento acabado a disposición de los alumnos, bien porque éstos deben construirlo o porque tienen que identificar las fuentes de conocimiento acabado a partir de las cuales re-construirlo. La tabla 4 muestra, circunscrito en borde grueso, los subconjuntos de nuestro modelo abarcados por este término. La definición propuesta encuentra apoyo en el hecho de que el espacio que delimita coincide con el trabajo habitual de los científicos, que construyen su conocimiento parcialmente mediante la investigación, pero también reflexionando sobre conocimientos ya adquiridos y, en gran medida, buscando y estudiando información relevante publicada por sus colegas.

Tabla 4

TIPO DE ENSEÑANZA		
Expositiva (aislada o insertada)	cerrada	directa
		problematizada (a priori o a posteriori)
	abierta	directa
		problematizada
Reflexiva		
Investigativa	guiada (datos 1. <sup>os</sup> /2. <sup>os</sup> )	
	orientada (datos 1. <sup>os</sup> /2. <sup>os</sup> )	
	abierta (datos 1. <sup>os</sup> /2. <sup>os</sup> )	

### APLICACIÓN Y VALORACIÓN DEL MODELO: CATEGORIZACIÓN DE DISEÑOS

Para evaluar e ilustrar la eficacia del modelo en la sistematización de las actividades de enseñanza de la ciencia y en la formalización de su lenguaje, hemos escogido de la literatura especializada distintas propuestas de enseñanza de la ciencia y estudiado si son asimilables por éste. Algunas propuestas son de nivel medio o incluso se plantean como estrategias de enseñanza, por lo que contienen más de una clase de actividad. El criterio para elegir los diseños ha sido del tipo «muestreo subjetivo por decisión razonada» en el que hemos intentado maximizar la diversidad, de forma similar a como los científicos escogen las condiciones experimentales para falsar sus propuestas<sup>29</sup>, así como su publicación en los últimos diez años en medios fácilmente accesibles para todos los especialistas. El criterio de diversidad es doblemente importante, ya que ayuda a exponer de una forma más completa la metodología propuesta.

#### Nivel micro

#### “Líquidos y viales” (Pottenger y Young, 1996, adaptado por Furtak, 2006)

##### Descripción

En esta actividad el profesor introduce tres viales con distintas cantidades de líquido en un tubo de ensayo que contiene dos líquidos inmiscibles de distinta densidad. Sorprendentemente, el vial con mayor cantidad de líquido flota a una altura intermedia entre los otros dos. Los alumnos deben encontrar la explicación al fenómeno (consistente en que los líquidos de los viales son de distinta densidad), desarrollando y evaluando sus propias hipótesis mediante la manipulación de los materiales.

##### Categorización

«Líquidos y viales» es un *problema investigativo orientado experimental* (sin embargo, es un planteamiento poco auténtico: no es un problema al que podría enfrentarse un científico sino una situación diseñada muy específicamente para el ámbito de la enseñanza).

El proceso seguido en la aplicación del modelo es como sigue. En primer lugar, elegimos el valor de la coordenada horizontal: consiste en un problema, ya que se presupone que los alumnos conocen el concepto de densidad y deben utilizarlo para explicar un hecho concreto. La selección de la categoría vertical apunta claramente a una investigación: los alumnos deben realizar hipótesis y evaluarlas manipulando los materiales del problema y sometidos a distintas pruebas diseñadas por ellos mismos. Como investigación es orientada, dado que el profesor plantea el problema pero no guía el proceso de investigación. Finalmente, es experimental porque los alumnos manipulan variables y generan los datos.

### Introducción a la conductancia (Buty, Tiberghien y Le Maréchal, 2004; Martineau et al., 2002)

#### Descripción

En esta propuesta los alumnos deben medir la conductancia de distintas soluciones –aparentemente ya preparadas–, para luego responder a una serie de preguntas tales como identificar qué soluciones contienen iones o interpretar por qué soluciones del mismo tamaño y concentración presentan conductancias diferentes. En definitiva, se pretende que desarrollen un modelo de la conducción eléctrica de las soluciones iónicas.

#### Categorización

Clasificamos esta propuesta como *reflexión teórica explicativa con datos primarios (y experimental)*. En primer lugar, se trata del aprendizaje de teoría ya que los alumnos deben desarrollar un modelo teórico, que además tiene carácter explicativo. El tipo de enseñanza lo identificamos como *reflexivo* –en lugar de investigativo– porque los alumnos no necesitan concebir qué datos se requieren y cómo conseguirlos, sino tan sólo realizar unas medidas en un montaje experimental prefijado. Finalmente, es con datos primarios ya que los alumnos generan los datos experimentales.

#### Nivel medio

### Secuencias problematizadas: Luz y visión (Osuna García et al., 2007)

#### Descripción

El modelo de secuencias problematizadas utilizado por Martínez-Torregrosa y sus colaboradores consiste, de manera esquemática, en plantear el aprendizaje de un tema científico a través de una sucesión de actividades investigativas bien definidas –en las que las hipótesis se someten a contrastación experimental–, que son englobadas por un título en forma interrogativa que debe ser motivante para los alumnos y dar sentido a todo el proceso. Esta propuesta parte de las preguntas «¿cómo vemos?» y «¿cómo podemos ver mejor?» para conducir a los alumnos a la invención de un modelo que explica la visión directa e indirecta (lentes y espejos).

#### Categorización

El modelo de «secuencias problematizadas», aplicado aquí a la luz y la visión, corresponde a una enseñanza *investigativa teórica explicativa guiada con datos primarios*, e ilustra cómo la enseñanza investigativa de grandes teorías explicativas debe ser altamente guiada (y estructurada) para abocar en la construcción del conocimiento pretendido. Este caso ilustra de manera especialmente nítida la aplicación del modelo tanto a una secuencia como a una estrategia de enseñanza.

La explicación de la visión y de las lentes correctoras es claramente una teoría explicativa. El proceso de enseñan-

za es nítidamente investigativo experimental. Además es guiado, dado que los alumnos son encauzados hacia una serie de ciclos hipotético-deductivo-experimentales pre-determinados.

### Problemas «mal estructurados» en Biología (Chinn y Chia, 2006)

#### Descripción

En esta propuesta, planteada como «aprendizaje basado en problemas» (PBL), los alumnos (supuestamente) investigan problemas «mal estructurados» de los que se enuncian varias características, entre ellas poseer múltiples soluciones e incertidumbre acerca de cuál es la mejor. La resolución de problemas es planteada como un «enriquecimiento» de un curso sobre nutrición y los temas de los «problemas», que son elegidos por los grupos de alumnas, se ciñen (supuestamente) a esta área, entre ellos el efecto del fármaco Viagra en la impotencia, nutrición y crecimiento del pelo, desórdenes alimentarios, el ginseng o los centros de adelgazamiento. Como muestra, el problema sobre el ginseng es planteado por las alumnas de la siguiente manera: *La abuela de Jiahe –una de las alumnas– toma ginseng regularmente e insiste en que la familia siga esa buena costumbre. Jiahe tiene curiosidad sobre la eficacia del ginseng. Su madre decide emplearnos a nosotras, nutricionistas, para investigar sobre el ginseng. Durante el curso del proyecto las alumnas buscan respuestas a preguntas como: ¿cuáles son los distintos tipos de ginseng y sus beneficios para la salud?, ¿cómo afecta el ginseng a los órganos corporales? o ¿qué procesos se involucran en la digestión del ginseng?* Para responder a las preguntas las alumnas recurren a Internet, libros, médicos chinos (sic) y consumidores de ginseng.

#### Categorización

Aunque esta propuesta se presenta como enseñanza por investigación y como «enseñanza basada en problemas» (PBL), la descripción que realizan las autoras dibuja una enseñanza *teórica expositiva doble abierta*. Esto es un ejemplo de enseñanza indagatoria (*inquiry based*) que sin embargo no pertenece a la enseñanza por investigación (tal y como se ha definido).

En primer lugar, es teórica ya que las alumnas no parten de un conocimiento general para resolver interrogantes más concretos, sino que acceden directamente a determinados contenidos científicos. La forma de llegar a ellos es, mayoritariamente, mediante la consulta a fuentes no predeterminadas y, por lo tanto, se trata de enseñanza expositiva abierta. La hemos caracterizado como doble abierta ya que en este –inusual– caso las alumnas elaboran las preguntas que deben ser resueltas.

Por otro lado, en la «enseñanza basada en problemas» (PBL) éstos son utilizados para estructurar el currículo y no –como aquí sucede– de forma complementaria (v.s.). Finalmente conviene realizar una aclaración epistemológica: al contrario que los problemas técnicos (o *diseños*), los problemas científicos tienen una solución

única y en ellos una «mala estructura» (o planteamiento) no tiene otro significado que el axiológico. Un problema (científico) mal planteado, tanto en la enseñanza como en la ciencia –donde puede fácilmente ocurrir en primera instancia–, debe ser reconducido hasta un «buen» planteamiento.

**Serie *Scientist-in-Action* (Sherwood et al., 1998)**

**Descripción**

En este diseño se presenta a los estudiantes investigaciones reales en formato vídeo que es interrumpido en diversas ocasiones para que aquéllos puedan formar parte del proceso de resolución del problema. Cuando la narración se reanuda, los alumnos pueden comparar sus soluciones con las de los científicos. Una buena parte de los datos que necesitan los estudiantes es proporcionada como material auxiliar aunque los alumnos toman algunas medidas. En el episodio descrito en el artículo se investiga la degradación de la calidad del agua en un río a partir de datos químicos y biológicos. En las pruebas piloto los autores comprueban que los alumnos no saben de dónde obtienen los peces el oxígeno y que ni siquiera disponen del concepto de disolución de un gas en un líquido. Estas averiguaciones se utilizan para incluir en la narración las explicaciones pertinentes.

**Categorización**

Esta propuesta consiste en una *investigación guiada de problemas con (algunos) datos primarios y con enseñanza expositiva cerrada problematizada insertada*. Los elementos expositivos hacen referencia a conceptos fundamentales (p. ej. la disolución de gases en líquidos) lo que, por lo visto más arriba, puede plantear dificultades de aprendizaje.

Éste es un caso próximo a la enseñanza basada en problemas de Barrows y Tamblyn –que ya hemos categorizado en un apartado anterior–, ya que inicialmente se plantea el problema, cuya resolución incluye la generación de datos empíricos, y en función de las necesidades los alumnos deben acceder a los contenidos teóricos de forma expositiva. La diferencia más significativa es que la teoría es ofrecida a los alumnos, y por tanto se trata de enseñanza expositiva (insertada) cerrada en lugar de abierta.

**El proyecto CoVis: *Mining your own business* (Co-Vis, 2008; O’Neill y Polman, 2004)**

**Descripción**

Los autores describen la metodología utilizada como aprendizaje basado en proyectos con el apoyo de recursos informáticos. En la propuesta seleccionada los alumnos deben desarrollar un proyecto para identificar una zona geográfica con alta probabilidad de contener un determinado material y un plan para su recuperación, presuponiendo un conocimiento básico de la composición y geografía de los minerales.

**Categorización**

Se trata de una *investigación técnica orientada con datos secundarios*. Los alumnos deben diseñar una intervención en el medio natural de forma investigativa, para lo cual obtienen datos empíricos a partir de Internet. Además, completan sus necesidades teóricas mediante aquel y otras fuentes, por lo que incluye aprendizaje *expositivo insertado abierto problematizado*. De acuerdo con lo expuesto más arriba, es un buen ejemplo de lo que (opcionalmente) puede caracterizarse como *proyecto*<sup>30</sup>.

**CONCLUSIÓN**

El modelo propuesto ha mostrado su capacidad para asimilar, con un alto grado de diferenciación, todos los diseños revisados aquí y otros que no se han incluido por razones de espacio. Esto indica que el léxico empleado está adecuadamente formalizado. Disponer de un modelo que representa, mediante propiedades sintácticas y semánticas bien definidas, al conjunto de las actividades de enseñanza de la ciencia permite pensar en éstas desde un plano de mayor abstracción y generalidad.

La validez del modelo se verá calibrada si otros investigadores repiten las mismas aplicaciones o realizan otras nuevas. Es decir, queda por verificar si una utilización más exhaustiva y triangulada del mismo puede conducir a un posible refinamiento o al reconocimiento de algunas limitaciones.

Por otro lado, la aplicación del modelo a los diseños de secuencias mostrados, y a otros, sugiere que las estrategias de elección para la enseñanza de la teoría científica por parte de los investigadores son la *enseñanza expositiva problematizada abierta (aislada)*, la *enseñanza expositiva problematizada (abierta o cerrada) insertada en la resolución investigativa de problemas* y la *enseñanza teórica investigativa (con datos primarios o secundarios)*. En cambio, como es bien sabido, en la enseñanza habitual predomina la *enseñanza expositiva cerrada directa*.

Aunque algunos lectores observarán con razón que la aplicación del modelo da lugar en ocasiones a categorías bastante complejas, creemos que es necesario aplicar aquí el conocido lema atribuido a Einstein: Hay que hacer las cosas tan simples como sea posible... pero no más simples.

**GLOSARIO**

Datos directos: Tal y como se obtienen de los instrumentos o mínimamente manipulados para hacerlos inteligibles y universales.

Datos modificados: Obtenidos a partir de datos *directos* mediante la utilización de teoría pero de forma aproblemática.

Datos primarios: Aquellos que son generados por el propio investigador.

Datos secundarios: Aquellos que son generados por otros investigadores.

Datos simplificados: Manipulados para hacerlos más fácilmente inteligibles pero con pérdida sustancial de información, por ejemplo un atlas anatómico escolar.

Demostración: Justificación de conocimiento conceptual o ejemplificación de un procedimiento.

Descriptiva (teoría): Aquella que se limita a describir los fenómenos observables y sus regularidades sin establecer relaciones causales.

Diseño: Plan detallado de una actividad, generalmente compleja, cuyo fin puede ser un artefacto o una intervención en el medio natural.

Diseño investigativo: Aquel en el que el diseño final o algunos de sus elementos dependen de datos experimentales para garantizar su funcionalidad (equivalente a *investigación técnica*).

Ejercicio: Construcción de conocimiento mediante procesos deductivos o algorítmicos.

Empírico: Con *datos primarios* (ver).

Experimental: Empírico con manipulación de variables.

Explicativa (teoría): Aquella en la que se establece relaciones causales entre las variables (mediante el proceso de abducción).

Expositiva (enseñanza): Aquella en la que el alumno aprende a partir de fuentes de conocimiento acabado.

Expositiva abierta (enseñanza): Aquella en la que las fuentes de conocimiento acabado deben ser identificadas por el alumno.

Expositiva doble abierta (enseñanza): Aquella en la que no sólo las fuentes de conocimiento acabado sino también la pregunta dependen del alumno. Siempre es *problematizada*.

Expositiva cerrada (enseñanza): Aquella en la que las fuentes de conocimiento acabado son identificadas por el profesor.

Expositiva aislada (enseñanza): Aquella cuyos objetivos de aprendizaje constituyen un fin en sí mismos (contrapuesta a *expositiva insertada* –ver–).

Expositiva directa (enseñanza): Aquella que proporciona el conocimiento acabado sin exponer las preguntas que le dan origen (contrapuesta a *expositiva problematizada* –ver–).

Expositiva insertada (enseñanza): Aquella a la que se recurre para poder avanzar en el curso de una investigación o reflexión.

Expositiva problematizada a posteriori (enseñanza): Aquella en la que se interroga a los alumnos acerca de las relaciones estructurales de la teoría una vez que ésta ha sido expuesta. No confundir con ejercicios o problemas.

Expositiva problematizada a priori (enseñanza): Aquella en la que los contenidos son precedidos por la pregunta que les da origen.

Indagatoria (enseñanza): Aquella que es formulada de forma problematizada y que no pone el conocimiento acabado a disposición de los alumnos, bien porque debe ser construido por éstos o porque tienen que identificar las fuentes a partir de las cuales re-construirlo. Abarca a las enseñanzas investigativa, reflexiva y expositiva abierta problematizada. Equivalente a *inquiry based teaching*.

Investigación técnica: Aquella cuyo fin es un artefacto o una intervención en el entorno natural (equivalente a *diseño investigativo*).

Investigativa (enseñanza): Aquella en la que el alumno construye el conocimiento mediante la concepción y utilización de datos empíricos.

Investigativa abierta (enseñanza): Aquella en la que el alumno concibe tanto la pregunta como los medios para llegar a la respuesta.

Investigativa guiada (enseñanza): Aquella en la que la pregunta es dada y se guía a los alumnos hacia los diseños experimentales.

Investigativa orientada (enseñanza): Aquella en la que la pregunta es dada pero el alumno desarrolla la investigación con gran autonomía.

Práctica: Aprendizaje de procedimientos mediante su realización, en general, reiterada. Por tanto, *práctica(s)* puede referirse a la realización de ejercicios de «lápiz y papel» así como al aprendizaje de procedimientos instrumentales.

Problema: (l.s.) Utilización de conocimientos teóricos para explicar o predecir un fenómeno concreto; (s.s. o problema auténtico) implica la utilización de la abducción.

Problema investigativo: Aquel en el que es necesario concebir y utilizar datos empíricos.

Problematizada (enseñanza): Aquella que plantea el/los interrogante/s que originan el nuevo conocimiento.

Procedimental: Relativo a procedimientos, es decir, a secuencias prefijadas o algorítmicas de procesos (simples).

Proyecto: Conjunto amplio y prolongado de actividades concebidas y ejecutadas para alcanzar un objetivo. En el ámbito de la ciencia y la tecnología éste puede ser nuevo conocimiento, un artefacto o una intervención en el medio natural.

**Reflexiva (enseñanza):** Aquella en la que el alumno construye el conocimiento pero en la que no necesita concebir y obtener datos (primarios o secundarios). Es decir, en estas actividades los datos o bien son innecesarios, o son conocidos por los alumnos, o son puestos a su disposición, o tan sólo necesitan generarse siguiendo instrucciones precisas –en cuyo caso se trata de enseñanza reflexiva empírica–.

**Teorética (enseñanza):** Aquella que persigue el aprendizaje de teoría.

**NOTAS**

1. Nota de estilo: Una cita precedida por cf. quiere decir que lo afirmado se deduce de o encuentra apoyo en lo expuesto por el autor citado, mientras que una cita sin tal prefijo pretende reproducir, generalmente de forma resumida, las ideas del autor.
2. *Inquiry* en inglés. Discutiremos más adelante la idoneidad de esta traducción.
3. Definimos como dominio del modelo el conjunto de las actividades de enseñanza de la ciencia stricto sensu, aunque hay indicios de que podría ampliarse a actividades CTS.
4. Otros autores denominan a esta dualidad conocimiento descriptivo vs. conocimiento teórico (cf. Lijnse y Klaassen, 2004), conocimiento observacional vs. conocimiento teórico (cf. Psillos, Tselves y Kariotoglou, 2004) y conocimiento legal (*sic*) vs. conocimiento explicativo o causal (cf. Piaget y García, 1989/1983, pp. 19-22).
5. Esta diferenciación entre problemas y ejercicios es coincidente con la que hace Pomes Ruiz (1991) y paralela a la de problemas bien estructurados y problemas deficientemente estructurados de Shin y otros (2003).
6. Definidos como el plan detallado de una actividad, generalmente compleja, cuyo fin puede ser un artefacto o una intervención en el medio natural.
7. Compartimos la opinión de que existe una diferencia epistemológica clara entre ciencia y tecnología (o entre *episteme* y *téchne*): la primera intenta explicar la realidad y la segunda modificarla. La con-fusión de ambas da lugar a errores como el que se describe en el apartado *Problemas mal estructurados en Biología*.
8. La idoneidad de estas coordenadas no se justifica a priori (aunque son muchos y diversos los autores que observan un paralelismo entre hacer ciencia y aprender ciencia –cf. ej. Lawson, 2004; Gil-Pérez et al., 2002; Giere, 1992; Hodson, 1992–), ni a lo largo de este apartado –que pretende familiarizar gradualmente al lector con el modelo y con el razonamiento seguido en su construcción–, sino como resultado de su utilización con éxito para representar el conjunto de las actividades de enseñanza de la ciencia (v.i.).
9. *Proyectos dirigidos por el profesor*, en terminología del proyecto CoVis (cf. CoVis, 2008).
10. *Proyectos dirigidos por el alumno*, ibíd.
11. Esta terminología es también usada por otros investigadores (cf. 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 aproblemática–, y *simplificados* –es decir, manipulados para hacerlos más fácilmente inteligibles pero con pérdida sustancial de información, por ejemplo un atlas anatómico escolar–.
12. Utilizaremos los términos *con datos primarios* y *empírico* de forma intercambiable. En aquellos casos en los que la generación de datos implica la manipulación de variables se puede sustituir por *experimental*.

13. Sería menos equívoco hablar de *enseñanza interrogativa* pero el término *problematizada* está bastante consolidado.
14. Nos referimos a preguntas acerca de las relaciones estructurales de la teoría y no a mero conocimiento memorístico. No se debe confundir esta problematización a posteriori con la realización de ejercicios o problemas: éstos suponen una utilización de la teoría mientras que aquélla consiste en preguntas acerca de los contenidos de la misma.
15. Diferenciamos esto de la re-construcción del conocimiento de la enseñanza expositiva.
16. Por concebir datos queremos decir decidir qué datos se necesitan, lo que excluye el trabajo de laboratorio en el que los alumnos se limitan a seguir unas «recetas de cocina».
17. Hemos simplificado la tabla eliminando el nivel de descubrimiento. Los usos de los términos *enseñanza investigativa guiada* y *enseñanza investigativa abierta* son consistentes con las propuestas del National Research Council (2000) y distintos investigadores (cf. Zohar, 2006; Chinn y Chia, 2006; Furtak, 2006). Diferenciamos la enseñanza por investigación guiada de la orientada en que en la primera, aunque los alumnos hacen propuestas respecto al método empírico, son encauzados hacia un diseño predeterminado; en cambio, en la segunda los alumnos sólo reciben la pregunta y deben desarrollar el método empírico y realizar las rectificaciones oportunas por sí mismos.
18. A la enseñanza *expositiva* en la que no sólo la identificación de las fuentes de conocimiento acabado sino también la pregunta dependen de los alumnos la denominamos *doble abierta*. Siempre es *problematizada*. Veremos un ejemplo más adelante.
19. Una casilla en blanco no indica que no exista ese tipo de actividad de enseñanza sino que no conocemos un término acuñado para el mismo.
20. La enseñanza *expositiva (cerrada y abierta)* puede ser aplicada de forma *aislada* o bien *insertada* en las estrategias *reflexivas e investigativas*, en cuyo caso suele estar *problematizada*. Veremos algunos ejemplos más adelante.
21. En su formato habitual; la clase magistral o el libro de texto pueden estar problematizados.
22. Demostración puede referirse a la justificación de conocimiento conceptual o a la ejemplificación de un procedimiento (p. ej. una intervención quirúrgica).
23. Siempre que estén bien planteados y no se reduzcan a meros ejercicios. Los típicos problemas de «lápiz y papel» no son investigativos ya que no suelen requerir la ideación de qué datos empíricos son necesarios.
24. Los procesos complejos de concepción (y, en su caso, ejecución) de diseños son denominados característicamente *proyectos*, aunque no de forma excluyente. Formalizamos el concepto de proyecto más adelante.
25. El significado y justificación del sombreado se aborda en el apartado siguiente.
26. Entendidos como secuencias prefijadas o algorítmicas de procesos (simples).
27. Instrumento entendido como medio no –exclusivamente– como aparataje.
28. Diversos autores utilizan el término «nivel micro» de diseño curricular para las actividades, «nivel medio» para las secuencias y «nivel macro» para los currículos (cf. Psillos, Tselves y Kariotoglou, 2004; Méheut y Psillos, 2004).
29. La referencia a este concepto de Popper no supone tomar su obra como la última palabra en filosofía de la ciencia, sino la constatación de que las características epistémicas de nuestra propuesta la eximen del falsacionismo sofisticado de Lakatos.
30. Y por tanto sería un *proyecto técnico investigativo orientado con datos secundarios e inserción de aprendizaje expositivo abierto problematizado*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- ANDERSON, R.D. (2002). Reforming Science Teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), pp. 1-12.
- BARROWS H. y TAMBLYN, R. (1980). *Problem-based learning: an approach to medical education*. Nueva York: Springer.
- BUTY, C., TIBERGHEN, A. y LE MARÉCHAL, J.F. (2004). Learning hypothesis and an associated tool to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 579-604.
- CHINN, C. y CHIA, L-G. (2006). Problem-based learning: Using ill-structured problems in biology project work. *Science Education*, 90(1), pp. 44-67.
- COVIS TEAM, NORTHWESTERN UNIVERSITY (2008, 1 de julio, último acceso). *CoVis Geosciences Web Server*. <<http://www.covis.northwestern.edu/geosciences/>>.
- EDELSON, D.C. (1998). Realising authentic science learning through the adaptation of science practice, en Fraser, B.J. y Tobin, K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 317-331.
- FINUCANE, P.M., JOHNSON, S.M. y PRIDEAUX, D.J. (1998). Problem-based learning: its rationale and efficacy. *Medical Journal of Australia*, 168, pp. 445-448.
- FURTAK, E.M. (2006). The problem with answers: An exploration of guided scientific inquiry teaching. *Science Education*, 90(3), pp. 453-467.
- GIERE, R. (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- GIL-PÉREZ, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO A.P., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ DUCH, A., DUMAS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H. y GALLEGO, R. (2002). Defending constructivism in science education. *Science and Education*, 11, pp. 557-571.
- HERRON, M.D. (1971). The nature of scientific inquiry. *School Review*, 79, pp. 171-212.
- HOBDEN, P. (1998). The role of routine problem tasks in science teaching, en Fraser, B.J. y Tobin, K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 219-232. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), pp. 541-566.
- IZQUIERDO, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, pp. 125-138.
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N. y ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 45-59.
- LIJNSE, P. y KLAASSEN, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 537-554.
- LAWSON, A.E. (2004). The nature and development of scientific reasoning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, pp. 207-338.
- MARTINEU, M.O., VINCENT, D., JEAN-MARIE, O., DRIVER, C. y LE MARÉCHAL, J.F. (2002). Initiation à la conductimétrie: une activité phare du nouveau programme de 1ère S. *Bulletin de l'Union de Physiciens*, 96, pp. 1441-1455.
- En <http://gric.univ-lyon2.fr/membres/lemarech/Publications/BupCond.pdf>
- MÉHEUT, M. y PSILLOS, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 515-535.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, COMMITTEE ON SCIENCE LEARNING, KINDERGARTEN THROUGH EIGHTH GRADE, RICHARD A. DUSCHL, HEIDI A. SCHWEINGRUBER, AND ANDREW W. SHOUSE, EDITORS. (2007). *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*. National Academy Press. En <http://www.nap.edu/catalog/11625.html>
- 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.
- NAVARRO PASTOR, M. (2006). Ideas para una mayor formalización de la Didáctica de las Ciencias. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 20, pp. 105-120.
- NAIAZ, M., ABD-EL-KHALICK, F., BENARROCH, A. et al. (2003). Constructivism: Defense or a continual critical appraisal. A response to Gil-Pérez et al. *Science & Education*, 12(8), pp. 787-797.
- 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), pp. 234-266.
- OSUNA GARCÍA, L., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., CARRASCOSA ALÍS, J. Y VERDÚ CARBONELL, R. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2).
- PATEL, V.L., GROEN, G.J. y NORMAN, G.R. (1993). Reasoning and Instruction in Medical Curricula. *Cognition and Instruction*, 10(4), pp. 335-378.
- PIAGET, J., y GARCÍA, R. (1989/1983). *Psychogenesis and the History of Science*. New York: Columbia University Press.
- 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), pp. 78-82.
- PORLAN, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), pp. 175-185.

- POTTENGER, F.M. y YOUNG, D.B. (1996). *The local environment teacher's guide* (2nd ed.). Honolulu, H.I.: Curriculum Research and Development Group.
- PSILLOS, D., TSELFES, V. y KARIOTOGLOU, P. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 555-578.
- SCHWABB, J. (1960). What do scientists do? *Behavioural science*, (5)1.
- SHERWOOD, R.D., PETROSINO, A.J., XIAODONG, L. y el COGNITION and TECHNOLOGY GROUP at VANDERBILT. (1998). Problem-based macro contexts in science instruction, en Fraser, B.J. y Tobin, K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 349-362. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- 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), pp. 6-33.
- SUTHERLAND, P. (1992). *Cognitive development today Piaget and his critics*. Londres: Paul Chapman.
- TAMIR, P. (1998). Assessment and evaluation in science education: Opportunities to learn and outcomes, en Fraser, B.J. y Tobin, K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 761-790. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- WALLACE, C.S. y KANG, N.H. (2004). Framing new research in science literacy and language use: authenticity, multiple discourses and the third space. *Science Education*, 88, pp. 901-914.
- ZOHAR, R. (2006). El pensamiento de orden superior en las clases de ciencias: objetivos, medios y resultados de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), pp. 157-172.

[Artículo recibido en octubre de 2007 y aceptado en octubre de 2008]

## A taxonomic model for science teaching activities as a means for formalizing the meta-language of didactic design

NAVARRO, MANUEL

Departamento de Didáctica General y Específicas. Universidad de Alicante  
manuel.navarro@ono.com

### Abstract

This article proposes formalizing of the lexicon used in the description of science teaching activities, through the development of a taxonomic model that intends to coherently differentiate and integrate the set of all of these activities and enable the categorisation of a specific proposal.

In order to develop the model, we build on previous work by Schwab (1960), Herron (1971), Furtak (2006) and Navarro Pastor (2006). The model takes the form of a matrix where the vertical coordinate refers to the different processes used ontogenetically to build scientific knowledge, whilst the horizontal one refers to the different types of scientific contents. The constituents of both coordinates are defined and justified. Specifically, reflective learning is defined as that in which the student constructs the new knowledge (as opposed to re-construct), but in which he does not need to conceive and obtain experimental data (primary or secondary). That is, in these activities, data are either unnecessary, or are known to the student, or are available to him, or he just needs to generate them following specific instructions, in which case it is *experimental reflective learning*. *Experimental and with primary data* are treated here as equivalents. *Open expositive learning* is that in which students need to find and select the sources of finished knowledge.

In certain nodes of the matrix we have inserted strategies that have well-known names (although we have provided a precise definition in those cases where those names are vague or ambiguous). A definition of *inquiry-based learning* is also proposed by associating this term to the area confined by the thick line. The didactic characteristics and functionality of the different binomials defined by the model are compared and discussed.

In order to test the validity of the model, we apply it to different designs, both micro (activities) and medium (teaching sequences). In all cases, the model seems capable to assimilating the designs in a precise and unambiguous way. The classification of teaching sequences (and, generally, strategies) leads, predictably, to more complicated labels; for instance the so-called Problem-Based Learning (PBL) by Barrows and Tamblyn is categorised as *open query-led expositive learning of theory, inserted in the resolution of problems and designs through discovery*. However, we judge that the well-known maxim attributed to Einstein applies: *make things as simple as possible... but not simpler*.

If the model's functionality to represent the set of all science teaching activities is confirmed, it should facilitate communication between specialists as well as the development of a didactics theory. For the reader's convenience a detailed glossary is attached.

		Contents	Theory		Exercises	Problems (scientific)	Designs (technical)
			descriptive	explicative			
<b>Teaching/learning modality</b>							
<b>Expositive</b> (isolated or inserted)	closed	direct	presentation textbook demonstration		demonstration		demonstration
		query led ( <i>a priori/a posteriori</i> )			demonstration		demonstration
	open	direct					
		query led	webquests				
<b>Reflective</b> (may use primary or secondary data)					calculations	<i>pencil &amp; paper</i> problems	project
<b>Discovery</b>		guided prim/sec. data					project
		oriented prim/sec. data					project
		open prim/sec. data					project

