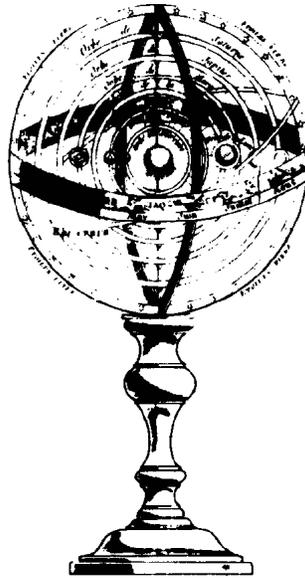


INNOVACIONES DIDÁCTICAS



UNA PROPUESTA DIDÁCTICA BASADA EN LA INVESTIGACIÓN PARA EL USO DE ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

OLIVA, J.M.¹, ARAGÓN, M.M.², MATEO, J.³ y BONAT, M.⁴

¹ Centro de Profesorado de Cádiz. Cádiz

² IES Drago. Cádiz

³ IES La Pedrera Blanca. Chiclana de la Frontera. Cádiz

⁴ IES La Vega del Guadalete. La Barca de la Florida. Cádiz

SUMMARY

In this paper, an analysis about the advantages and difficulties of the analogies, as a didactic resource in science education, is accomplished. According to the results of the investigation developed in this field during the last years, some criteria to take into account with the purpose of improving their use in the classroom, are also provided. All these contributions are accompanied by concrete examples that help to illustrate the considerations and the didactic implications for educational practice.

INTRODUCCIÓN

Las analogías son comparaciones entre dominios de conocimiento que mantienen una cierta relación de semejanza entre sí. Constituyen una herramienta frecuente en el pensamiento ordinario de las personas y ocupan también un lugar importante en el ámbito de la enseñanza, en general, y de la enseñanza de las ciencias, en particular.

Desde un punto de vista educativo, sirven para ayudar a comprender una determinada noción o fenómeno, que se denomina *objeto*, *problema* o *blanco*, a través de las relaciones que establece con un sistema *análogo* –al que también se denomina *ancla*, *base* o *fuentes*– y que resulta para el alumno más conocido y familiar (Dagher, 1995a).

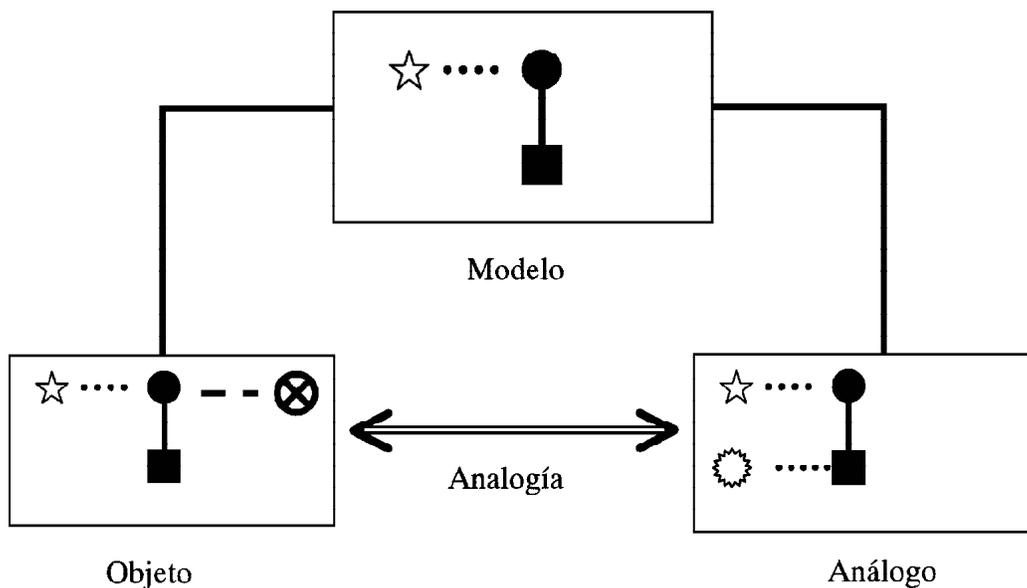
El uso de analogías como estrategia educativa aparece en la literatura fundamentado desde distintos puntos de vista. Por un lado, en psicología, se han aportado teorías y modelos acerca de cómo funciona el razonamiento analógico desde las más diversas y variadas tradiciones existentes (González-Labra, 1997). Por otro, se ha justificado también el interés de este tipo de estrategia aludiendo al papel que juega en el pensamiento de los científicos y en la construcción de sus teorías (Dreistadt, 1968; Gee, 1978; Gentner y Gentner, 1983). Así mismo, desde una orientación educativa y siguiendo las tesis de Ausubel, se ha justificado su utilidad como organizador previo del aprendizaje (Gilbert, 1989). Finalmente, no han faltado tampoco argumentos en favor de esta herramienta desde una vertiente neurológica, como lo demuestra el trabajo de Lawson y Lawson (1993).

No obstante, en la actualidad, el estudio de las analogías se encuentra especialmente ligado al ámbito de investigación sobre modelos mentales (Johnson-Laird, 1983; Holland et al.; 1986), por diversas razones que comentamos a continuación. De una parte, construir una analogía conlleva la elaboración de un modelo mental de la situación análoga que se toma como referencia e implica también, en última instancia, la génesis de un modelo sobre la nueva situación o problema que se quiere entender. Así mismo, entre ambos, ha de mediar un modelo que sirva de puente y recoja los atributos y relaciones comunes a los dos sistemas que se comparan (Fig. 1). Desde esta perspectiva, una analogía puede considerarse como un modelo de segundo orden que se verifica, a su vez, a partir de la activación de otros modelos (González-Labra, 1997).

De otra parte, cualquier modelo mental que elaboran los alumnos a partir de los modelos científicos que se les enseña tiene un componente analógico muy importante, como han señalado ya autores como Gilbert y otros (1998) o Harrison y Treagust (2000). Así, por ejemplo, cuando utilizamos en las clases de ciencias un modelo molecular de bolas, una maqueta a escala para explicar el sistema solar o globos inflados para ilustrar la forma de distintos orbitales, nos apoyamos sobre el razonamiento analógico de los alumnos utilizando esos sistemas como entidades análogas de los que se quiere representar.

En sus distintas versiones –analogías propiamente dichas, símiles o metáforas– es una estrategia utilizada con

Figura 1
Modelos y analogías según Duit (1991).



frecuencia por los profesores de un modo más o menos sistemático en las clases de ciencias. Pero, a pesar de lo generalizado de su uso y de la potencialidad que normalmente se le supone, su efectividad en la enseñanza ha sido matizada e incluso cuestionada por algunos. Hasta tal punto esto es así, que existen defensores y también detractores de esta estrategia de enseñanza. En este trabajo llevamos a cabo un análisis de algunas de las dificultades que presenta en la práctica docente este tipo de estrategias y realizamos también algunas consideraciones acerca de cómo mejorar su uso en las clases de ciencias.

¿SON O NO ÚTILES LAS ANALOGÍAS? ALGUNAS PRECISIONES AL RESPECTO

En el ámbito específico de la didáctica de las ciencias, se registran citas bibliográficas de los años sesenta en las que ya se justifica el interés de este tipo de instrumento de razonamiento tanto desde un punto de vista psicológico como desde la óptica de la educación científica. No obstante, no es hasta hace relativamente poco tiempo cuando la didáctica de las ciencias se ha empezado a preocupar por evaluar la incidencia de este tipo de estrategias en el aprendizaje de los alumnos. Podría decirse que no es hasta principios de los ochenta cuando esta línea de investigación empieza a tener cierta relevancia. Más recientemente, el trabajo de Black y Solomon (1987), en el que se evaluó experimentalmente el interés de ciertas analogías sobre el tema de la corriente eléctrica, parece marcar un punto de inflexión a partir del cual el interés de los investigadores por el tema se ha visto notablemente incrementado. Desde entonces son numerosas las investigaciones de distinto tipo que han tratado de evaluar la utilidad de las analogías como instrumento de enseñanza de las ciencias en los países anglosajones.

En nuestro país, curiosamente, son muy escasos los trabajos orientados a investigar en este terreno. Salvo excepciones (Acevedo, 1990; González-Labra, 1997; Aragón et al., 1998; Martín y Moreno, 1998), el tema ha sido casi ignorado a pesar de que son bastantes los profesores que reconocen que las analogías suelen formar parte del repertorio habitual de recursos que utilizan a la hora de explicar ciencias. Esta circunstancia resulta especialmente sorprendente si se tiene en cuenta que en el concierto internacional, revistas como el *Journal of Research in Science Teaching* han llegado a dedicar un número monográfico al tema.

En las investigaciones realizadas en el contexto educativo, se han evaluado diversos aspectos de las analogías, como son su repercusión en el rendimiento en ciencias, el cambio conceptual alcanzado e incluso las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de las ciencias y las analogías utilizadas en las clases. Después de todos estos años y de numerosas investigaciones al respecto, se nos plantea la pregunta de en qué medida resultan útiles y efectivas las analogías como recurso para la enseñanza de las ciencias.

Con vistas a efectuar un balance global que responda a esa pregunta, podemos recurrir a las revisiones realizadas por Duit (1991) y Dagher (1995b). En la primera de ellas se concluye que los resultados experimentales obtenidos son ambiguos y no permiten decantarnos claramente hacia una posición favorable o desfavorable hacia ellas.

El propio Dagher en la revisión llevada a cabo más recientemente comienza indicando que, mientras el razonamiento analógico se considera un ingrediente natural que subyace en el aprendizaje y en el pensamiento, el papel de las analogías en la enseñanza de conceptos científicos aparece demarcado con mucha menos claridad. No obstante, en su trabajo, Dagher trató de ir más lejos que Duit e intentó analizar cualitativamente qué rasgos comparten aquellas investigaciones en las que sí parecen tener éxito las analogías con respecto a aquellas otras que no lo obtienen. Como resultado de este análisis más fino, concluye que el debate no debe estar en si son o no útiles las analogías en la enseñanza, sino en cuáles son las condiciones a partir de las cuales las analogías pueden llegar a resultar útiles desde el punto de vista didáctico. Ello exige esclarecer cuáles son los rasgos metodológicos que pueden mejorar su efectividad en la enseñanza.

Este autor llega a distinguir algunas de las características que han de reunir las analogías para que alcancen un verdadero valor didáctico. Más adelante comentaremos algunas de ellas si bien tal vez resulte antes interesante recordar algunas dificultades que la bibliografía describe respecto al uso de las analogías que se emplean en las clases habitualmente. Ya en trabajos anteriores se han esbozado algunas de estas dificultades (Duit, 1991; Dagher, 1995b; Aragón et al., 1999). A continuación recogemos, de un modo detallado, algunos comentarios acerca de los problemas más importantes detectados:

1) A veces el análogo no es suficientemente familiar e incluso en ocasiones resulta tan complejo o más aún que el blanco. Puede ocurrir también que los alumnos no tengan actitudes favorables hacia el análogo empleado, o que no vean su utilidad, ya que una vez que la aprenden no ejercitan su uso ni comprueban su valor. Así mismo, en ocasiones, es frecuente que se comparen situaciones que no parecen semejantes para los alumnos, de ahí que no encuentren los puntos de similitud que establece el profesor. Todo ello contribuye a un rechazo de la analogía en sí y, en el mejor de los casos, a una deficiente asimilación de la misma (Duit, 1991; Brown, 1994; Stavy y Tirosh, 1993).

2) Normalmente la analogía se presenta como algo ya hecho y acabado que debe resultar evidente y convincente para los alumnos. Suele limitarse a un proceso de mera transmisión o recepción en el que los alumnos juegan un papel pasivo (Aragón et al., 1998). Se presenta sin aportar oportunidades para evaluar y regular la interpretación que de ella hacen los alumnos. Por ejemplo, suelen ser escasas las ocasiones en las que aparecen acompañadas de una guía que dirija y matice su empleo (Glyn et al., 1989). Más escasas

aún son las ocasiones en las que se tiene en cuenta que el alumnado puede tener concepciones alternativas que interfieran en su proceso de asimilación. Todo ello contribuye a que los alumnos acomoden la analogía a sus concepciones alternativas sugiriendo o reforzando falsas asociaciones entre dominios. Como consecuencia de ello, las analogías pueden ser también una fuente de concepciones alternativas, al menos cuando son utilizadas de esta forma (Brown, 1992; Duit, 1991; Kaufman, Patel y Magder, 1996).

3) El aprendizaje de la analogía se concibe como un fin en sí mismo, olvidándose que sólo es un instrumento para la construcción de un modelo. De esta forma, no se exponen cuáles son sus puntos débiles ni cuáles son los límites de aplicabilidad (Rodney y Treagust, 1995; Harrison y Treagust, 2000). Por otra parte, la analogía se introduce como un hecho puntual y aislado y por ello no es frecuente que ayuden a entender cuáles son los aspectos del objeto que realmente se pretende ilustrar con ella. En estas circunstancias no debe extrañar que la analogía se interprete de un modo literal, llevándose demasiado lejos y contribuyendo a un tipo de razonamiento excesivamente rígido que conduce a fijaciones funcionales y a dificultades de aprendizaje posteriores. En consecuencia, los alumnos difícilmente captarán la estructura profunda de la analogía, y por tanto se quedarán con lo anecdótico, en la mera apariencia, sin trascender a relaciones más profundas que las que son directamente perceptibles (Stavy y Tirosh, 1993).

Una vez localizados algunos de los problemas que inciden en el uso de analogías, podemos hacer un balance más preciso de la utilidad de esta estrategia de enseñanza. Con todas las cautelas necesarias, consideramos con Dagher (1995b) que el uso de las analogías no debe llegar a verse como un factor negativo en sí, aunque sí pueda llegar a serlo determinado tipo de analogías y la forma didáctica bajo la que suele plantearse su uso en el aula. Es evidente que esta reflexión tiene importantes implicaciones prácticas en el uso de analogías, como trataremos de ver.

Situándonos desde esta perspectiva, hemos elaborado una propuesta concreta para el uso de analogías en las clases de ciencias. La propuesta se fundamenta, por un lado, en algunas de las orientaciones constructivistas actuales sobre la enseñanza de las ciencias, ya que parece aconsejable adaptar esta vieja estrategia a los nuevos cánones impuestos por el marco actual vigente de un modo semejante a cómo otros recursos didácticos, como la resolución de problemas o los trabajos prácticos, han sido también reformulados desde esta perspectiva (Gil et al., 1999). También toma como referencia, por otro, las contribuciones más significativas registradas en la investigación específica realizada durante los últimos años en el campo de las analogías.

La propuesta se dirige especialmente a la etapa de la educación secundaria y queda encuadrada por cinco líneas básicas, que intentan responder a las distintas decisiones que ha de tomar un profesor cuando hace uso de analogías. Esto es: cuál es la analogía que va a

emplear, qué papel ha de jugar el alumno y el profesor en la construcción de la misma, cuál será el modelo didáctico que dirija su proceso de construcción y cuáles son los fines que se perseguirán con ella. El resto del trabajo lo dedicaremos a describir y justificar en profundidad la propuesta.

ALGUNOS CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ANALOGÍAS

En primer lugar, parece interesante discutir cuáles son las analogías sobre las que vale la pena trabajar en las clases. Esto implica analizar cuáles son las anclas o análogos que deberían elegirse en cada caso, y cuáles las relaciones que han de establecerse entre ellos y el objeto o blanco. Con respecto a este punto, hemos extraído de la bibliografía algunas pautas o condiciones que deberían cumplir las analogías desde el punto de vista del contenido que abordan:

1) El análogo debe ser más accesible que el objeto, en el sentido de que debe hacer referencia a una situación más cotidiana y, por tanto, con la que los alumnos se encuentren más familiarizados (Duit, 1991; Aragón et al., 1999). No sería útil, por ejemplo, representar el aparato circulatorio de la sangre a partir de una analogía con el funcionamiento de un circuito eléctrico, dado que probablemente este otro sistema es tanto o menos asequible para los alumnos que el primero.

2) La analogía debe ser concreta y, en consecuencia, debe ser susceptible de presentarse a través de una imagen o de algo que sea tangible. El uso de representaciones visuales puede ser importante en la comprensión de la analogía, si bien por desgracia, en la práctica, suele utilizarse mucho menos de lo deseado (Dupin y Joshua, 1990; Duit, 1991). Remitimos a los lectores interesados a un estudio reciente de Reiner y Gilbert (2000) en el que se fundamenta el papel de las imágenes en la formación de los modelos mentales implicados en la realización, por ejemplo, de experimentos imaginados.

3) El análogo empleado debe simplificarse en lo posible. No se trata de representar mediante un mismo análogo todos y cada uno de los rasgos del objeto, ya que ello conduciría a una situación tanto o más compleja que la situación que se quiere aclarar. Se trataría más bien de elegir solamente algunos atributos que nos permitan aproximarnos al fenómeno a examen de una forma idealizada (Dupin y Joshua, 1990; Dagher, 1995b). De hecho, algunos autores, como Harrison y Treagust (2000), señalan que el uso de representaciones simplificadas estaría especialmente indicado con vistas a ilustrar la idea de que ningún modelo es completo o correcto. Algunos autores encuentran, incluso, que las limitaciones y lagunas que presentan algunas analogías al ser aplicadas podrían ser canalizadas y transformadas en buenas ocasiones para invitar a los alumnos a la reflexión y a desarrollar su espíritu crítico (Heywood y Parker, 1997).

4) La semejanza entre los fenómenos que se comparan no debe ser ni demasiado grande ni demasiado pequeña. Si el objeto y el análogo son muy distintos, los alumnos pueden tener dificultades a la hora de encontrar relaciones entre ambos, ya que las similitudes superficiales parece que juegan un papel importante a la hora de aceptar la analogía por parte de los alumnos (Tenney y Gentner, 1985; Holyoak y Koth, 1987; Stavy y Tirosh, 1993). Pero, si son demasiado parecidos, tampoco la analogía será útil, ya que la semejanza podría ser tan evidente que no sería estimulante (Duit, 1991; Ogborn y Martins, 1996).

e) Se debe evitar el empleo de análogos en los que los alumnos dispongan de concepciones alternativas (Duit, 1991) y también de aquéllos hacia los que éstos pudieran presentar actitudes poco favorables (Dagher, 1995b). En caso contrario, corremos el riesgo de provocar una transferencia de las concepciones alternativas o de las actitudes negativas del análogo al objeto a través de la analogía (Gentner y Gentner, 1983; Aragón et al., 1999).

Estas orientaciones son importantes por cuanto proporcionan criterios para la elaboración de catálogos de analogías de interés para la enseñanza de las ciencias con un fundamento explícito en la investigación realizada durante años en este terreno. De hecho, autores como Duit (1991) y Treagust y otros (1992) han señalado que una exigencia básica para un uso cotidiano y afectivo de analogías es que el profesor disponga de un repertorio bien preparado de analogías con una validez contrastada.

Pero la calidad de la analogía en sí no sólo depende de la naturaleza del análogo que se elige, si bien es un aspecto importante. Constituye una condición necesaria pero no suficiente. Otra cuestión fundamental es cómo podemos utilizar esta estrategia en la enseñanza de las ciencias del modo más adecuado. Una primera pregunta que deberíamos plantear al respecto es qué papel debe jugar el alumno en el proceso de construcción de las analogías. A continuación intentaremos profundizar en este punto aprovechando las aportaciones y sugerencias formuladas en diversas investigaciones.

JUSTIFICACIÓN DEL PAPEL ACTIVO DEL ALUMNO EN LA CONSTRUCCIÓN DE ANALOGÍAS

La literatura existente sugiere que una de las principales limitaciones que han tenido las analogías en las clases de ciencias ha estado en los supuestos didácticos en los que se ha fundamentado su empleo. La mayor parte de las veces, la metodología empleada no ha diferido mucho de la mera transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados. Ya en estudios anteriores (Aragón et al., 1998; Oliva et al., 1997) se ha analizado, entre otras cuestiones, cuál es la metodología empleada por los libros de texto a la hora de presentar las analogías. Como consecuencia de dicho estudio se encontró que en torno al 90% de los casos se recurría a una metodología de tipo

expositivo, proponiéndose y desarrollándose en el texto sin ningún tipo de participación del lector, ni en su elaboración ni en su posterior aplicación a casos concretos. Lo que es más llamativo aun es que ni siquiera se detectaran diferencias importantes entre el uso que se daba a las analogías en los libros del anterior y del actual sistema educativo. Este dato puede considerarse una muestra más de cuál es la metodología que sigue imperando en la enseñanza de las ciencias, en la que el protagonismo sigue estando en manos del profesor mientras que el alumno se limita a ser mero espectador. De esta manera, las analogías suelen presentarse como modelos o productos ya acabados que los alumnos pueden y deben entender en la dirección pretendida.

Sin embargo, si tenemos en cuenta las premisas constructivistas del aprendizaje que señala Driver (1986) —premisas que podrían resumirse en la frase de que «aprender implica construir activamente significados»—, debemos cuestionar la posibilidad de que las analogías sean siempre interpretadas por el alumno en los mismos términos que plantea el profesor. Más bien debemos pensar que son reinterpretadas por ellos a partir de sus esquemas iniciales de ahí que no siempre sean entendidas en la dirección que se pretende y de ahí también que una de las condiciones básicas de su éxito sea que los estudiantes participen activamente en su construcción (Brown y Clement, 1989).

Coherentemente con este planteamiento, deberíamos plantear la analogía, no como un producto prefabricado que ha de ser aprendido, sino como un proceso en el que los alumnos puedan y deban aportar sus opiniones, tomar decisiones y, en definitiva, contribuir abiertamente en su construcción. En este sentido, nos decantamos por la opción de concebir la analogía como algo que se genera a través de tareas o actividades de distinto tipo: actividades de génesis o construcción de la analogía (p.e., analogías incompletas o en forma de símiles o metáforas que los alumnos han de desarrollar), actividades orientadas a fomentar la metacognición a través de la analogía construida, actividades de aplicación de la analogía para la formulación de hipótesis o resolución de problemas, etc. Con ello pretendemos prestar más tiempo y esfuerzo, del que se invierte normalmente, a que los alumnos encuentren sentido a las analogías desarrolladas (Clement, 1993).

En apoyo a esta propuesta podríamos citar los trabajos de Wong (1993a,b), Cosgrove (1995) o Kaufman y otros (1996), quienes han mostrado que, si los alumnos se instruyen para crear, aplicar y modificar sus propias analogías —en oposición a la mera aplicación de analogías específicas proporcionadas desde el exterior—, se contribuye positivamente a la autorregulación de sus explicaciones sobre los fenómenos científicos y, en general, se avanza en la comprensión conceptual de los fenómenos científicos. También cabe citar a Clement (1998), en cuyo trabajo se muestra que tanto expertos como novatos comparten una tendencia natural al uso de analogías ante problemas poco familiares. Por ello, debemos concluir que la participación del alumno es parte de un proceso natural e inevitable, que no sólo no puede

ni debe impedirse sino que, por el contrario, debe fomentarse y canalizarse a través de una labor constante de tutorización. Finalmente, tal vez sea interesante resaltar la contribución de Zook (1991), que pone de manifiesto que los alumnos suelen trazar más fácilmente analogías construidas por ellos mismos que las que proporcionan los profesores, ya que sus analogías personales son más familiares y fáciles de aplicar.

Pero, está claro que no toda analogía puede llegar a considerarse igualmente válida, de lo que se desprende la necesidad de disponer de alguna forma de evaluar su pertinencia y utilidad. Pensamos que el proceso de construcción de analogías por parte de los adolescentes no debe consistir en un proceso autónomo, sino que debe venir acompañado por una tarea constante de asesoramiento y guía por parte del profesor y de los propios materiales de aprendizaje.

EL PAPEL DEL PROFESOR: EVALUACIÓN Y GUÍA DEL ALUMNADO

Un aspecto importante es que el uso de analogías vaya acompañado de un proceso constante de retroalimentación del aprendizaje de los alumnos. Para ello podemos valernos de dos estrategias: *a)* la continua evaluación de lo que aprenden los alumnos acerca de ella; y *b)* una guía permanente que oriente y dirija su proceso de construcción.

Por un lado, la evaluación continuada responde a la necesidad de comprobar qué idea extraen los alumnos de las actividades planteadas a medida que van construyendo la analogía. Nos interesa constatar si los alumnos encuentran similitud entre el objeto y el análogo y si son o no conscientes de los límites de la analogía. También nos interesa evaluar si entienden la analogía en el sentido deseado o si, por el contrario, la deforman o la interpretan en un sentido superficial. Como señala Dagher (1995b), profesores o investigadores debemos aprender a evaluar el impacto de las analogías desde distintos y variados puntos de vista, comprobando no sólo si la analogía se asimila de un modo utilitario para explicar o predecir cosas, sino también si se alcanza a comprender el modelo que se encuentra detrás, aspecto al que nos referiremos después.

Por otro el hecho de recurrir a una guía permanente no pretende coartar la iniciativa de los alumnos ni la posibilidad de que éstos fabriquen sus propias analogías; más bien, al contrario, uno de los objetivos de la propuesta es desarrollar la creatividad y la imaginación, al mismo tiempo que el espíritu crítico. Pero para esto último es preciso proporcionar instrumentos que permitan discriminar entre los aspectos positivos y negativos de la analogía, y entre buenas y malas analogías. De igual modo que ni la enseñanza transmisiva ni la enseñanza por descubrimiento autónomo han mostrado los frutos deseados en el aprendizaje científico en general (Gil, 1986), tampoco debemos basar el uso de analogías ni en la transmisión-recepción de analogías prefabricadas ni en la elaboración autónoma y arbitraria de analo-

gías por parte del alumno sin un control externo del profesor. Resulta preciso, pues, una guía que dirija la interpretación y uso que hacen los alumnos de la analogía y que aporte además detalles y pistas que ayuden a su construcción (Dagher, 1995b).

Desgraciadamente, en muy pocas ocasiones los textos aportan consejos y pautas que orienten a los profesores sobre cómo han de desarrollar de un modo adecuado las analogías que se incluyen, o que ayuden a los alumnos a construirlas y aplicarlas (Glynn et al., 1989; Jarman, 1996; Aragón et al., 1999). Tanto es así que algunos autores se manifiestan incluso cautos a la hora de juzgar la conveniencia de incluir analogías en los textos, según ellos, porque las analogías requieren una flexibilidad de uso difícilmente disponible en los textos tradicionales (Rodney y Treagust, 1995). Por nuestra parte, lejos de plantear la eliminación de las analogías de los textos, pero aportando guías y orientaciones para su uso dirigidas a alumnos y profesores, así como la incorporación de estrategias orientadas a mejorar la comprensión de textos (Britton, 1994; Collado y García Madruga, 1997; Orrantia et al., 1995; Sanjosé et al., 1993; Vidal-Abarca et al., 1994).

Con objeto de guiar la construcción de la analogía disponemos, por una parte, de la posibilidad de planificación previa de secuencias de actividades estudiadas para contribuir positivamente a la construcción de la analogía por parte del alumno. También disponemos, por otra, de la interacción continua alumno-profesor propiciada por una dinámica de la clase basada en la resolución y discusión de actividades. En este sentido, resulta interesante la opción de presentar las analogías a través de una secuencia de actividades en vez de abordarse como algo puntual.

Todo ello es factible a través de una metodología que conciba el desarrollo de la analogía a través de actividades que los alumnos han de resolver, en un contexto en el que la explicación o discurso del profesor se entiende como un proceso dialógico (Pacca y Villani, 2000) y no como un monólogo o una mera exposición. Las dudas que los alumnos manifiestan durante la resolución de las actividades propuestas, las respuestas que aportan a las preguntas que el profesor les plantea sobre la marcha para comprobar qué van aprendiendo o las discusiones que se entablan en las puestas en común constituyen buenas oportunidades para evaluar las concepciones que van elaborando los alumnos con objeto de alentarlas o también de reorientarlas en caso de que éstas no resulten adecuadas. Se trataría, en suma, de aplicar las estrategias habituales de enseñanza dentro de la orientación constructivista, a través de un enfoque mixto entre la resolución de problemas, las demostraciones experimentales, el trabajo en pequeño grupo y, especialmente, las discusiones en gran grupo (Clement, 1993; Dagher, 1995b).

Siguiendo estas premisas y orientaciones, el cuadro I recoge un ejemplo concreto de actividad en esta línea.

Como puede verse, consiste en completar un cuadro de semejanzas entre elementos de un sistema eléctrico y otro hidráulico con objeto de ayudar a los alumnos a entender diversos aspectos relativos al funcionamiento de un circuito de corriente continua.

Actividades como ésta pueden proponerse inicialmente para que sean resueltas individualmente o en grupo. No obstante, es preciso que a continuación el profesor dirija una puesta en común y una discusión en gran grupo para debatir las respuestas e interpretaciones ofrecidas por los alumnos. El grado de apertura que puede contemplarse en las respuestas de actividades como ésta dependerá de la actividad concreta planteada y también de los objetivos que plantea con ellas el profesor. En algunas ocasiones los alumnos podrían trazar diversas interpretaciones posibles del paralelismo entre los sistemas que se comparan. Llegado el caso, estas interpretaciones podrían incluso resultar distintas de las que ofrece el profesor. Las analogías propuestas por los alumnos deberían ser tomadas en principio como hipótesis de trabajo, para más tarde ser analizadas y comparadas entre sí en la pizarra.

Pero no todas las tareas que se formulen de este tipo tienen por qué plantearse de una forma abierta. De hecho, en ocasiones, algunas de las interpretaciones que dan los alumnos podrían ser nocivas o poco útiles, por lo que resulta precisa la intervención constante del profesor planteando preguntas y negociando significados con los alumnos para inducirlos hacia planteamientos alternativos a los que ellos han dado en caso de que sea necesario.

De cualquier forma queda claro que el profesor y los alumnos necesitan disponer de elementos que les permitan sistematizar el proceso de construcción de las analogías en los términos en que estamos hablando y especialmente necesitan criterios para comparar distintas analogías y evaluar cada una con objeto de adoptar y desarrollar finalmente aquéllas que puedan parecer más convenientes. En otras palabras, necesitan algún modelo que posibilite el proceso de construcción de la analogía desde una perspectiva crítica, aspecto al que prestaremos la atención en los dos próximos apartados. En esta línea, Clement (2000) ha propuesto recientemente un esquema general para el aprendizaje a través de modelos, que puede ser interesante retomar aquí. En dicho modelo se contempla que los alumnos pueden tener modelos y concepciones alternativas que se pretendan cambiar a través de la enseñanza y, a la vez, también modelos y concepciones que pueden ser útiles como puntos de partida del aprendizaje. Según esto, el aprendizaje a través de analogías implicaría un doble proceso que vamos a considerar a continuación:

a) el proceso de anclaje o conexión con las ideas de los alumnos que resultan útiles y que pueden dar pie a la construcción de la analogía;

b) el cambio conceptual que se quiere generar en las concepciones alternativas del objeto, en caso de que éstas existan.

EL PROCESO DE ANCLAJE O DE CONSTRUCCIÓN DE LA ANALOGÍA

Duit (1991) recoge en su revisión diversos modelos encaminados a orientar la génesis de analogías. Entre ellos hemos seleccionado el modelo de «enseñanza con analogías» (Teaching-with-Analogy: TWA), que es, a nuestro juicio, uno de los que mejor se adapta al contexto didáctico, frente a otro tipo de modelos más de corte psicológico. Dicho modelo ha sido desarrollado por Glyn (1991; citado por Dagher, 1995b) en la universidad de Georgia basándose en un estudio sobre las analogías encontradas en 43 libros de texto. El modelo se enmarca dentro de la corriente constructivista de enseñanza y consiste en la secuencia de seis pasos:

1) Se introduce el objeto o problema. Por ejemplo, se está hablando del modelo atómico de Böhr.

2) Se propone una experiencia o idea como análoga de la anterior. Se podría insinuar el caso de los libros colocados sobre una estantería como análogo al anterior sistema.

3) Se trata de identificar qué tienen en común ambos conceptos. En ambas ocasiones tenemos algo que puede situarse a distintas distancias de otra cosa, pero no a cualquier distancia, y puede adoptar diversos valores de energía potencial, pero no valores cualesquiera.

4) Se proyectan las similitudes desde el análogo al blanco. El suelo equivaldría al núcleo del átomo; los libros, a los electrones; los estantes, a las distintas órbitas; la atracción gravitatoria, a las fuerzas eléctricas; y la energía potencial de cada libro, a la energía potencial del electrón.

5) Se trazan conclusiones acerca del objeto. De igual forma que los libros no pueden adquirir valores cualesquiera de energía potencial, debido a que sólo existen determinadas alturas posibles para los estantes, los electrones no pueden adquirir cualquier valor de energía, ya que sólo determinadas órbitas u orbitales son posibles. Una consecuencia de esto es que, al igual que, para subir un libro de un estante a otro, se necesita una energía igual a la diferencia de ambos, para hacer saltar a un electrón de un nivel a otro superior se necesitaría también una energía igual a la diferencia correspondiente. Y de igual modo que, al caer de un estante a otro un libro emitiría energía, perceptible, por ejemplo, en forma de sonido al chocar con el suelo o con un estante inferior, un electrón que desciende de un nivel a otro emite energía.

6) Se indica dónde falla la analogía. La analogía falla, por ejemplo, en que todas las estanterías tendrían en principio la misma capacidad para albergar libros, mientras no todos los niveles del átomo tienen, como sabemos, la misma capacidad para situar electrones. Las estanterías están colocadas por lo general de una forma equidistante, cosa que no ocurre con los niveles energéticos del átomo. También podría mencionarse el hecho de que los niveles de energía no tienen en sí mismos una existencia física real, mientras sí la tiene la madera de la

Cuadro I
Actividad para analizar semejanzas entre los elementos de una analogía.

Completa a continuación los espacios con objeto de comparar los componentes de un circuito eléctrico y de un circuito de agua.

Circuito eléctrico	Circuito de agua	Explica la semejanza
Carga eléctrica		
		En ambos casos hablamos de unidades en el sí de las cantidades correspondientes.
	Tubería	
	Bomba de succión	
Intensidad de corriente		
Resistencia		
Potencial eléctrico		Los electrones concentrados en el cable se repelen de forma semejante a cómo se empujan las moléculas de un líquido que se comprime.
Diferencia de potencial		

estantería. O también que los electrones en el modelo de Böhr se suponen en movimiento mientras los libros de la estantería permanecen en reposo.

En resumidas cuentas, y sobre la base de este conjunto de etapas, podemos establecer que cualquier secuencia de aprendizaje debería incluir al menos tres fases o etapas importantes en el proceso de construcción de la analogía:

a) Una parte dedicada a la génesis de la analogía, propiamente dicha, que abarcaría la delimitación del objeto y del análogo y el establecimiento de las relaciones entre ambos.

b) Una etapa dirigida a su aplicación para obtener conclusiones que permitan comprender mejor el análogo e incluso para poder llegar a realizar predicciones.

c) Una fase orientada al establecimiento de diferencias entre el objeto y el análogo y de limitaciones de la analogía.

En referencia a la primera fase, hay que señalar la necesidad de hacer totalmente explícitas las relaciones entre los dos sistemas que se comparan, especialmente cuando de lo que se trata es de un símil o una metáfora en los que no todas las relaciones se hacen explícitas directamente. Como sabemos, en el símil se mencionan los dos sistemas que se comparan, pero no se especifican detalles acerca de cuáles son los elementos de cada uno que se relacionan («El átomo es como una especie de sistema solar en miniatura»). Mientras tanto, la metáfora constituye un instrumento del lenguaje en el que se sustituye un elemento del objeto por otro del análogo utilizando una relación de identidad en un sentido figu-

rado, pero no se dan más detalles ni referencias acerca de las relaciones exactas que conforman la analogía implícita a la que se está haciendo mención («Los electrones son los planetas del átomo.»). En un estudio anterior (Aragón et al., 1999) se pudo comprobar que algo más de la cuarta parte de las comparaciones efectuadas en los libros de texto de física y química son símiles o metáforas y que éstas casi nunca se acompañan de comentarios o actividades que ayuden a explotar su uso o a servir como instrumento de autorregulación para el alumno. En estas condiciones, y a pesar de que potencialmente podrían llegar a ser útiles para estimular el establecimiento de relaciones entre el objeto y el análogo, creemos que el uso que hacen actualmente los textos de los símiles y de las metáforas podría ser cuanto menos peligroso.

En cuanto a la segunda fase hay que decir que, en la mayoría de casos, la analogía se sugiere en el discurso explicativo del libro de texto o del profesor pero no se aplica luego, con lo cual se pierde la oportunidad de sacar mayor y mejor partido de ella. Los profesores deberían no sólo mostrar las relaciones existentes entre el objeto y el análogo, sino también fomentar su uso para interpretar fenómenos conocidos y para establecer hipótesis y predicciones que luego puedan comprobarse de una forma experimental.

Por último, en alusión a la tercera etapa, conviene que también se aborde con los alumnos dónde falla la analogía que se está generando y cuáles son sus limitaciones. Para ello es preciso que se analicen cuáles son los elementos del objeto que no encuentran una franca correspondencia con los elementos del análogo. También resulta bueno estudiar algunos ejemplos concretos en los que la analogía falla, dado que las predicciones que de ella se desprenden a veces no se corresponden con la práctica o los resultados experimentales. Incluso podría ser interesante discutir de un modo expreso algunas de las interpretaciones inadecuadas que podrían surgir a partir de la analogía (Curtis y Reygelugh, 1984).

El cuadro II recoge un ejemplo de microsecuencia didáctica destinada a establecer algunas comparaciones para representar el significado de las fórmulas químicas. Puede apreciarse que en dicha secuencia se respeta el esquema básico del modelo TWA, incluyendo actividades de introducción de la analogía a través de la representación de la composición de un frutero mediante fórmulas (actividades 1 y 2), de proyección de la analogía sobre el análogo y su aplicación para entender el significado de una fórmula a la hora de representar moléculas y sustancias químicas (actividades 3 y 4), así como la formulación de diferencias entre ambos sistemas y de establecimiento de limitaciones en la analogía (actividad 5). Este último aspecto nos parece fundamental en todos los casos, pero especialmente en esta analogía, ya que la misma corre el riesgo de fortalecer una tendencia en los alumnos consistente en proyectar sistemáticamente sobre el mundo microscópico las mismas leyes y principios que gobiernan el mundo macroscópico. Entre otras muchas diferencias que podrían destacarse, cabe citar, por ejemplo, la referente a las limitaciones

que encontramos a la hora de entender el significado de una fórmula química en sustancias de tipo reticular. En este caso, como sabemos, no cabe distinguir unidades discretas comparables a las bandejas de frutas. Es preferible advertir a los alumnos de ésta y otras insuficiencias y discutir las con ellos ampliamente antes que forzar demasiado la analogía para intentar explicar cualquier cosa con ella. En todo caso, siempre nos queda la opción de emplear otra analogía complementaria que cubra esos otros aspectos que la primera no satisfacía. O tal vez fuera mejor utilizar en tal caso otra estrategia distinta ya que no pretendemos emplear una analogía para cada idea nueva que se introduzca.

En ocasiones, a la hora de trazar conexiones entre el objeto y el análogo, puede ocurrir que el alumno no aprecie similitud o paralelismo entre los sistemas que se comparan. Es evidente que, si ello sucede, el proceso de construcción de la analogía se verá colapsado y el alumno no será capaz de proyectar relaciones de uno a otro y de trazar conclusiones al respecto. Para soslayar esta dificultad, Brown y Clement (Brown y Clement, 1989; Clement, 1998) han desarrollado una estrategia que facilita la comprensión de la analogía a través de puentes (*bridging*). Esta estrategia consiste en la presentación de alguna situación intermedia entre el objeto y el análogo que ayude a comprender las semejanzas entre uno y otro. En ocasiones, según los referidos autores, puede ser incluso conveniente dividir el proceso de inferencia de relaciones en diversos tramos y en cada uno de ellos utilizar un determinado puente. Con ello, podría facilitarse, mediante sucesivas discusiones, el paso del objeto al análogo a través de un proceso sin solución de continuidad.

En su metodología, estos autores proponen la idea no tanto de presentar directamente el ancla y los puentes para transmitir después las similitudes existentes como de fomentar la discusión acerca de los puntos de similitud y diferencias que los alumnos encuentran entre las distintas situaciones que se manejan. Con ello, la similitud entre esas situaciones no se tomaría como un punto de partida sino de llegada. Esta estrategia, según Clement (1998), tiene no sólo un valor didáctico sino que ha sido utilizada incluso por algunos científicos en la historia a la hora de basar o explicar sus razonamientos.

Pero el establecimiento de similitudes entre las nociones que se comparan en la analogía resulta especialmente costoso cuando los alumnos disponen ya de ideas previas erróneas sobre el objeto. En este caso, el problema no consistiría en introducir una nueva idea en el sentido estricto de la palabra, sino de cambiar la que ya tiene el alumno.

CRITERIOS PARA EL USO DE ANALOGÍAS EN LA EVOLUCIÓN DE CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

A pesar de que el papel de las analogías en el cambio conceptual ha sido mucho menos investigado (Brown,

1994), diversos autores sostienen que, incluso en estos casos, las analogías tienen mucho que decir en el aprendizaje del alumno (Dagher, 1994). Según Dagher, ya desde un punto de vista del cambio como algo radical y revolucionario, en línea con algunas interpretaciones del modelo de Posner y otros (1982), el uso de analogías es compatible con la idea de cambio conceptual ya que puede ayudar a sugerir nuevas ideas y hacerlas inteligibles en competencia con las ideas iniciales. Además, el propio Dagher señala que, incluso desde una óptica del cambio en sí, el uso de analogías puede resultar útil si el cambio se conceptualiza, no tanto como un desplazamiento o sustitución de una idea por otra, sino como un proceso de evolución de las ideas iniciales hasta transformarlas en concepciones aptas según la ciencia:

«[...] la contribución de las analogías instruccionales al cambio conceptual podría ser tácita, originando pequeños aunque sustanciales cambios en las nociones de los estudiantes [...] Determinar el papel que tienen estos pequeños cambios para precipitar cambios radicales constituye un gran desafío para la investigación acerca del razonamiento de los niños» (Dagher, 1994; p. 609).

A ello habría que añadir también la utilidad que presenta el razonamiento analógico a la hora de comparar fenómenos similares y de generalizar la nueva idea transvándola de unos contextos a otros. En este sentido, hay que indicar que diversos estudios han puesto de mani-

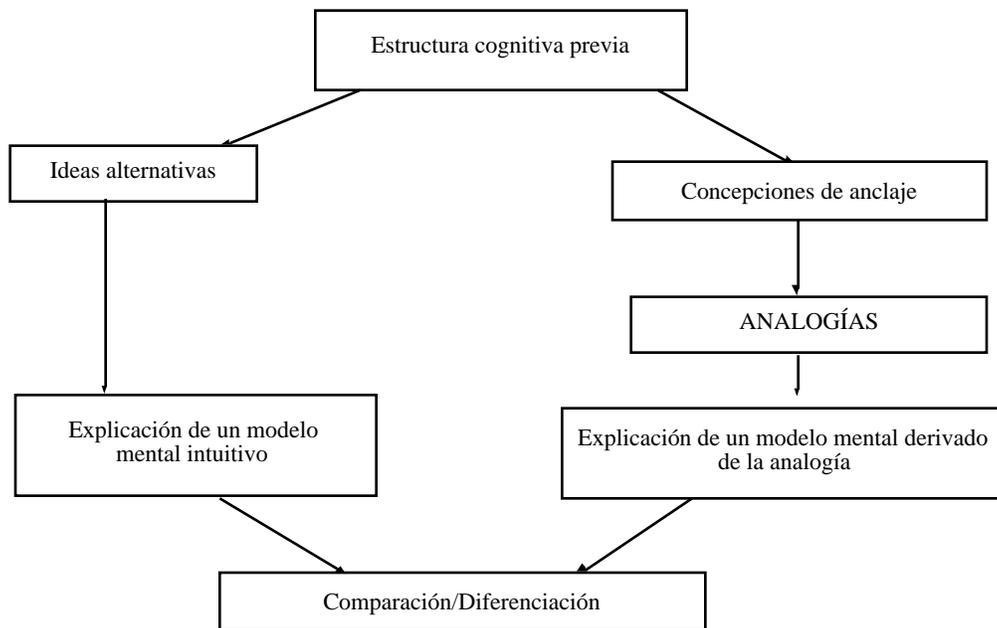
fiesto que la dificultad del cambio no estaría sólo en la aceptación de la nueva idea y el rechazo de las anteriores sino también en la habilidad para generalizar (Pozo, et al., 1991; Oliva, 1996).

Finalmente hemos de comentar que, a lo largo de sus trabajos, Brown y Clement (Brown y Clement, 1989; Clement, 1993; Brown, 1994) han fundamentado y evaluado el papel de las analogías a través de puentes a la hora de propiciar el cambio conceptual en los alumnos. Todo ello no hace sino reforzar la idea de que las analogías pueden jugar también un rol importante al cambiar o hacer evolucionar las concepciones alternativas que traen los alumnos desde una fase anterior a la enseñanza.

La figura 2 muestra el esquema de un modelo de cambio conceptual a través de analogías que ya esbozamos en un trabajo anterior (Aragón et al., 1999). En suma, intenta sintetizar algunas de las aportaciones más importantes procedentes de las investigaciones realizadas en los últimos años en el ámbito del cambio conceptual:

1) La visión constructivista se basa en «aprender a partir de lo que el alumno ya sabe». Esto sugiere la conveniencia de buscar en sus ideas intuitivas iniciales aquellas ideas que, aunque parciales e incompletas, le permitan acceder a una primera aproximación al punto de vista científico (Clement, 1993, 2000). Concretamente, Clement (2000) interpreta el cambio conceptual como una

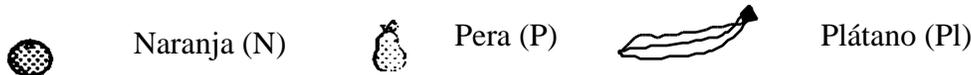
Figura 2
Un modelo para el uso de analogías en el cambio conceptual (Aragón et al., 1999).



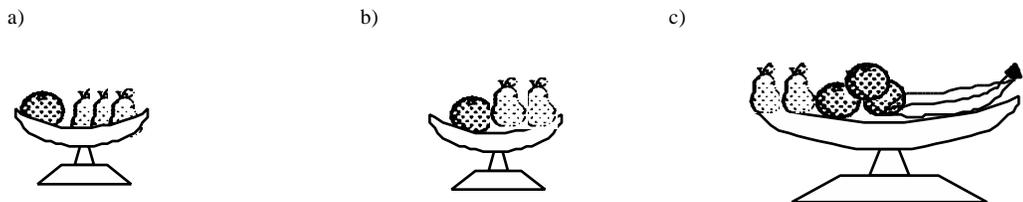
Cuadro II

Secuencia de analogías para el aprendizaje de distintos aspectos relacionados con la teoría atómica de la materia y la formulación química.

1) Las sustancias puras están formadas por un solo tipo de molécula. Una molécula es una agrupación de átomos. La fórmula de una sustancia indica el tipo y número de átomos que constituye la molécula. La composición de cada molécula se representa de forma parecida a cómo se podría representar mediante símbolos el contenido de un frutero:



Utilizando los símbolos correspondientes a cada una de las frutas representa mediante una fórmula la composición de cada frutero:

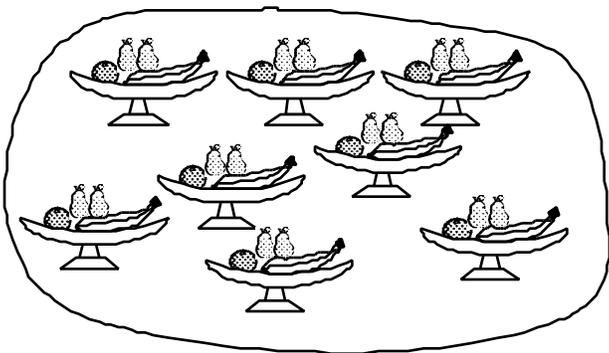


2) Indica ahora el contenido de algunos fruterios que alguien representase mediante fórmulas:



3) Indica algunas semejanzas que encuentres entre fruterios y moléculas. A partir de aquéllas dibuja las moléculas que representan las siguientes fórmulas: H_2O (agua), CO_2 (dióxido de carbono), NH_3 (amoníaco), $C_6H_{12}O_6$ (glucosa).

4) El sistema de la figura puede representarse mediante la fórmula P_2NPl , que es la composición de cada uno de los fruterios constituyentes.



Siguiendo el mismo razonamiento representa las sustancias: agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3).

5) Indica algunas diferencias que encuentres entre fruterios y moléculas y entre la composición del conjunto de fruterios de la actividad anterior y la composición de las sustancias puras.

evolución a través de distintos modelos intermedios más que como un proceso de reestructuración.

2) Las estrategias de conflicto conceptual a través de las cuales se confrontan las ideas previas de los alumnos con la experiencia sensible o con las ideas del profesor han de jugar un papel limitado en el cambio conceptual. Su aplicación sistemática en el aula no ha llegado a propor-

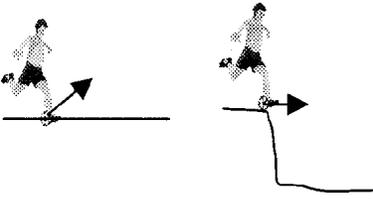
cionar los frutos deseados y, a veces, parece que conduce a la desmotivación y el desánimo en el alumnado (Furió et al., 1994; Oliva, 1999a). En este sentido habría que retomar y tener muy presentes aquellas estrategias de conflicto interno en las cuales los alumnos encuentran contradicción en su propio razonamiento, lo que puede ser también una ayuda para modificar sus ideas (Pozo et al., 1995).

Este modelo complementa el modelo *TWA* en aquellos casos en los que los alumnos ya tienen ideas alternativas acerca del fenómeno que intenta ilustrar la analogía. Se trata de generar una nueva idea que compita con la inicialmente existente. El alumno debe ser consciente de que mantiene simultáneamente dos nociones: la inicial y la aprendida. Es importante que compare ambas interpretaciones, que se vuelva consciente de sus contradicciones y que aprenda a analizar las posibilidades y limitaciones de cada una, llegando a percibir las ventajas de la nueva idea con respecto a la anterior y el mayor poder predictivo y explicativo que posee. Este proceso de metacognición no siempre es sencillo y a veces es difícil actuar y obtener a través de él los resultados deseados, como ya hemos argumentado en otro lugar (Oliva, 1999b).

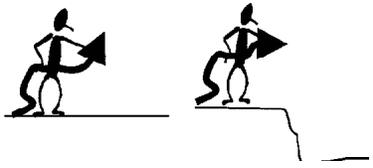
El cuadro III recoge una secuencia de actividades orientadas desde esta perspectiva. Los alumnos suelen tener una visión muy próxima a la aristotélica cuando analizan fenómenos en los que se componen dos tipos de movimientos. Al igual que ocurre en la historia de la ciencia, los alumnos suelen creer que tales movimientos son sucesivos y dibujan, por ejemplo, la trayectoria de un proyectil mediante una línea que recuerda las primeras descripciones balísticas de Tartaglia: primero un movimiento recto oblicuo y ascendente, seguido de una pequeña curvatura brusca, que termina con un movimiento vertical de caída. Históricamente, parece ser que fueron los artistas del Renacimiento los que primero dilucidaron la forma parabólica del movimiento de proyectiles. Llegaron a esta conclusión por similitud o analogía con el movimiento de chorros de agua, que conocían sobra-

Cuadro III
Secuencia de actividades en la que se compara la trayectoria de proyectiles con chorros de agua.

1) En el dibujo de la figura se representan a dos niños lanzando un balón desde distintos lugares. Dibuja en cada caso la trayectoria que sigue el balón desde el momento del lanzamiento hasta el instante que llega al suelo. Compara los dibujos que has realizado entre sí, y con los que han hecho otros compañeros.



2) Ahora te presentamos a un jardinero con una manguera dirigida hacia distintos sitios y has de dibujar en cada caso el chorro de agua desde que sale hasta que cae al suelo.



3) Compara tus dibujos con los de otros compañeros y con las trayectorias que dibujaste en la actividad anterior. ¿Qué semejanzas y diferencias aprecias? ¿A qué crees que se deben?

4) El texto que aparece a continuación constituye una adaptación de un interesante libro sobre la historia de la ciencia [...]

[se incluye aquí una adaptación de diversos textos históricos, en la que se muestra el papel de la analogía entre la forma de los chorros de agua y el movimiento de proyectiles, en la determinación de la forma de la trayectoria de ésta última]

Tras su lectura has de responder a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué relación guarda el texto con las preguntas formuladas en actividades anteriores?
- ¿Qué relación se establece en el texto entre la trayectoria de objetos que se mueven por la gravedad y la forma de los chorros de agua?
- ¿Quiénes y cómo llegan a relacionar ambas cosas?

5) Puesta en común de toda la clase con posibilidad de experimentación.

damente por ser frecuentes en los frescos de la época. De hecho, se da la paradoja de que Tartaglia en una de sus obras describía literalmente el movimiento de proyectiles de un modo que hoy parece inadecuado, siguiendo el planteamiento antes señalado. Mientras tanto, el ilustrador de su obra, siguiendo su propio criterio, dibujó en la portada una bombardera de la que salía un proyectil describiendo una trayectoria curva muy próxima a una parábola (Thuillier, 1988).

La secuencia propuesta puede servir para que los alumnos aprovechen esta analogía utilizando como referente el chorro de agua que, a buen seguro, será bastante mejor conocido debido a su mayor accesibilidad a la percepción visual.

En esta secuencia podemos encontrarnos con el problema de que los alumnos no vean como análogos el movimiento de un proyectil y de un chorro de líquido, como, por otra parte, parecen haber apuntado algunas de las investigaciones realizadas (Maloney, 1988). En tal caso, podría añadirse a la secuencia algún puente entre ambos, para lo cual tal vez pudiera servir el caso de una manguera que dispara granos de arena o un cañón que dispara pelotas de tenis.

Así, pues, podemos decir que las analogías pueden constituir una herramienta de interés tanto para el aprendizaje de nociones nuevas como para «cambiar» ideas que ya tiene el alumno. Sin embargo, como trataremos a continuación de ver, todavía es posible asignar a las analogías un papel de adicional relevancia cuando se emplean con unas pretensiones que van más allá del aprendizaje de aspectos y detalles específicos del fenómeno que se quiere ilustrar.

MÁS ALLÁ DE LA ANALOGÍA COMO OBJETIVO DIDÁCTICO

Uno de los problemas detectados en el uso de analogías es que los alumnos aprenden la analogía como si constituyese un objeto de enseñanza en sí misma. Otras veces se quedan sólo en detalles aparentes y anecdóticos sin que lleguen a ver los rasgos centrales que la analogía quería representar. Todo ello suele manifestarse, por ejemplo, cuando los alumnos interpretan la analogía basándose solamente en los aspectos superficiales y llamativos de la misma o cuando son incapaces de explicar los fenómenos objeto de estudio en otros términos que no sean los mismos utilizados por la propia analogía (Stavy y Tirosh, 1993). Por todo ello, hemos de hacer algunas puntualizaciones importantes con respecto a su uso.

En el plano conceptual, se trataría de ir más allá del mero aprendizaje de la analogía en sí, como objeto de conocimiento con valor propio, sirviendo además como una herramienta heurística que permite hacer predicciones e, incluso más, como instrumento que facilita la construcción de un modelo (Duit, 1991; Brown, 1994). Para todo ello es preciso aunar diversas circunstancias.

En primer lugar, es preciso que exista una voluntad explícita por parte del docente de llegar a construir un modelo con sus alumnos, más allá de la analogía concreta que está empleando o a la que está aludiendo (Fig. 1). En este sentido, hemos de recordar que los modelos juegan un papel fundamental como motor del desarrollo de la ciencia a lo largo de la historia, y que la investigación desarrollada en los últimos años en el campo de la didáctica de las ciencias ha mostrado el importante papel que juegan los modelos mentales en la interpretación de fenómenos y en la construcción de nuevos conocimientos por parte de los individuos, como ya hemos sugerido al principio (Gutiérrez, 1996; Greca y Moreira, 1998; Greca y Moreira, 2000; Halloun, 1996).

En segundo lugar, es necesario que la misma analogía sea empleada en distintos momentos de la construcción del modelo, por ejemplo, a través de su uso en la interpretación o predicción de diferentes fenómenos relacionados con un mismo dominio. Sobre esto hay que decir que, si bien la analogía constituye un instrumento que puede facilitar el acceso al modelo que se encuentra detrás, también lo es que la interpretación que el alumno hace de la analogía depende igualmente de los modelos mentales que éste activa cuando se enfrenta a la misma. Tal afirmación aparece hoy avalada desde distintos paradigmas de investigación, como son, entre otros, la corriente constructivista del aprendizaje (Driver, 1986), el marco de los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983; Holland et al.; 1986) o los estudios sobre comprensión de textos escritos (Britton, 1994; Gersbacher, 1995).

Por ello, hemos de pensar que la construcción de la analogía en sí, como también del modelo que hay detrás, resulta algo bastante complejo. No se trata de un proceso lineal y unidireccional, sino más bien del resultado de un conjunto de aproximaciones sucesivas en las que el individuo realiza un continuo viaje de ida y vuelta entre ambas estructuras mentales. Como consecuencia de este proceso interactivo, tanto el significado que se otorga a la analogía como al modelo que la soporta se van viendo modificados de una forma paulatina.

En uno de sus trabajos, Izquierdo y otros (1999) plantean un problema parecido en la construcción del conocimiento del alumno que se lleva a cabo a partir del trabajo práctico del laboratorio y muestran lo inadecuado que resulta situar el problema en el terreno de si son las ideas las que avanzan a partir de los experimentos o si ocurre al revés. Se reconoce, por el contrario, la complejidad del papel que tiene la experimentación y la teorización en la construcción de la ciencia, planteándose la necesidad de recurrir a modelos de construcción de conocimientos que vayan más allá de cualquier relación lineal y simple entre una y otra.

Siguiendo un paralelismo con este razonamiento, tampoco sería conveniente plantear si la analogía ha de ser empleada antes o después de la construcción del modelo, ya que ello implicaría precisar una secuencia lógica y unidireccional entre ambas. En su lugar, se sugiere un

Cuadro IV
Actividad destinada a comparar distintas analogías entre sí.

Discute las semejanzas y diferencias que existen entre los cuatro sistemas que a continuación se dibujan.

Alta presión

Bomba 3

Baja presión

Estrechamiento

4

A la hora de imaginar en el dibujo 4 los distintos rasgos y elementos del circuito eléctrico (la pila, el conductor, la corriente eléctrica, el voltaje y la resistencia de la bombilla), señala en cuál de los tres primeros dibujos queda para ti mejor representado y por qué.

uso combinado de analogías en distintos momentos de la intervención didáctica y según diversos fines: como organizador previo, insertada en el discurso del profesor o del texto y, finalmente, como recapitulación. Las primeras deberían ser muy simples y preferentemente encaminadas a aprovechar los rasgos superficiales de los fenómenos que se comparan, lo que permitiría el acceso a un primer nivel de modelización muy simple. Las insertadas o intercaladas en la explicación podrían ser algo más complejas, dado que existiría ya un modelo que sirviese de base a la interpretación de la analogía en un sentido deseado. Finalmente, las analogías de recapitulación podrían ser las más elaboradas e irían dirigidas a consolidar el modelo que los alumnos han construido o a proporcionar algunos retoques sobre el mismo. Se trataría, pues, de que los alumnos pudieran ir asimilando los contenidos que van estudiando siguiendo el hilo conductor de una misma analogía que se va gestando y desarrollando poco a poco.

En tercer lugar, sería bueno que se emplease más de una analogía para ilustrar el mismo fenómeno o distintas partes del dominio que se quiere enseñar (Duit, 1991; Thagard, 1992; Dagher, 1994; Heywood y Parker, 1997; Harrison y Treagust, 2000). Así, conseguiremos un efecto de complementariedad entre las diversas analogías utilizadas, cuyos puntos de convergencia vendrían a marcar cuáles son las semejanzas o paralelismos fundamentales entre el objeto y el análogo hacia donde esta estrategia pretende apuntar (Cuadro IV). Este paso debería ser una etapa crítica en el proceso de construcción del modelo.

Finalmente, hay que comentar que no sólo consideramos importante el aprendizaje del modelo en sí que se pretende ilustrar mediante la o las analogías empleadas, sino también las destrezas de razonamiento y las actitudes científicas y hacia las ciencias que se desarrollan cuando se construye la analogía y el modelo. De esta forma, por

ejemplo, la idea de cambio conceptual, aun siendo útil para ciertos fines, corre el peligro de hacernos olvidar otras facetas importantes del aprendizaje del alumno, por ejemplo, las relacionadas con los procedimientos, actitudes y creencias epistemológicas, como bien han señalado diversos autores (Gil, 1996; Campanario y Moya, 1999; Oliva, 1999a; Cudmani et al., 2000). Así, el cambio conceptual no puede verificarse si no va acompañado de un cambio procedimental y actitudinal en el alumno (Gil, 1996), y de ahí la necesidad de perseguir cotas más altas que el aprendizaje de la mera analogía en sí o del modelo que se encuentra detrás.

Pensamos, por ejemplo, que la modelización debería constituir en sí misma un objetivo del aprendizaje de las ciencias paralelo al aprendizaje de los modelos concretos que incluye el currículo. Y que ello contribuiría al desarrollo de destrezas intelectuales como comparar, relacionar, sintetizar, diferenciar, etc., todas ellas claves dentro del repertorio habitual de procedimientos del currículo de ciencias (Pro, 1998). De hecho, en un estudio realizado por Friedel, Gabel y Samuel (1990) se ha podido comprobar que el desarrollo de destrezas en los estudiantes asociados al razonamiento analógico puede revertir con posterioridad en una mayor efectividad de las analogías que se empleen.

Por otra parte, a la hora de predecir o entender nuevos hechos y fenómenos, la fertilidad de las analogías puede ser una herramienta para valorar la lógica y la racionalidad del pensamiento científico y la importancia de los modelos en la construcción de las ciencias.

Finalmente, además, la toma de conciencia y la aceptación de las limitaciones que tienen las analogías, podrían ser elementos útiles para comprender también las limitaciones y el carácter aproximativo de los modelos científicos. Se superarían con ello los problemas a los que autores como Ben-Zvi y Gemut (1998) aluden cuando reconocen que los alumnos suelen aprender los modelos y teorías científicas como descripciones o leyes absolutas de la realidad.

A MODO DE SÍNTESIS

A pesar de los problemas y limitaciones que pueden presentar las analogías, consideramos que su empleo puede jugar y juega un papel importante en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Como señala Dagher (1995b), lo que debe cuestionarse no es si las analogías

son o no útiles, sino qué analogías deben utilizarse y a través de qué tipo de estrategia didáctica.

Resumiendo las aportaciones de este trabajo, hemos señalado y desarrollado algunas propuestas concretas que pueden mejorar el uso que se hace de ellas en la enseñanza de las ciencias. De esta forma, se han delimitado algunos criterios que podrían ser útiles en la selección del contenido de las analogías. Se han marcado también algunas pautas importantes a seguir durante su empleo en el aula y, finalmente, se han clarificado cuáles son las pretensiones que, desde nuestro punto de vista, debería tener como instrumento de aprendizaje. Junto a ello, hemos aportado diversos ejemplos con la idea de concretar las sugerencias y aportaciones realizadas.

Es evidente que estas propuestas deberían ser en el futuro objeto de evaluación sistemática a través de diseños instruccionales que incorporen tales supuestos. Estas investigaciones podrían emplear como objeto de evaluación tanto los conocimientos conceptuales adquiridos como las destrezas aprendidas y las actitudes desarrolladas. Ello nos permitiría detectar probablemente nuevos problemas o tal vez precisar y encuadrar algunos de los ya planteados. Todo ello sería útil como punto de referencia a la hora de mejorar las propuestas realizadas y también para desarrollar nuevas propuestas en respuesta a las nuevas demandas.

Así mismo, sería importante investigar en un futuro cuál es el estatus que juegan las diferencias individuales en el aprendizaje de los alumnos a través de analogías, ya que algunos estudios realizados hasta el momento sugieren que algunos factores, como el nivel cognitivo de los alumnos, podrían influir en su eficiencia (ver la revisión de Duit, 1991).

Finalmente, queremos comentar que sería interesante analizar diversos aspectos relacionados con el profesorado, como puede ser su imagen acerca de las analogías como estrategia didáctica o en qué medida utiliza analogías en sus clases aplicando estrategias metodológicas cercanas a las que aquí hemos propuesto. En la misma línea, sería bueno también disponer de criterios para la elaboración de estrategias formativas concretas orientadas a cambiar sus concepciones epistemológicas y sus hábitos metodológicos en este terreno. Sólo en la medida en que el profesorado cambie sus estrategias y métodos de trabajo cuando usa analogías, podremos decir que este campo de investigación ha llegado a adquirir un verdadero sentido haciendo que sus conclusiones e implicaciones afecten a las prácticas de enseñanza que reciben los alumnos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J.A. (1990). Aportaciones acerca del aprendizaje por analogía: modelos conceptuales y analógicos de la corriente eléctrica, en Grupo Investigación en la Escuela (comps.). *Cambio educativo y desarrollo profesional*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- ARAGÓN, M.M., BONAT, M., CERVERA, J., MATEO, J. y OLIVA, J.M. (1998). Las analogías como estrategia didáctica en la enseñanza de la física y de la química, en Banet, E. y de Pro, A. (cords.). *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias*. La Pobra de Segur: DM.
- ARAGÓN, M.M., BONAT, M., OLIVA, J.M., y MATEO, J. (1999). Las analogías como recurso didáctico en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 22, pp. 109-116.
- BEN-ZVI, N. y GEMUT, S. (1998). Uses and limitations of scientific models: the Periodic Table as an inductive tool. *International Journal of Science Education*, 20(3), pp. 351-360.
- BLACK, D. y SOLOMON, J. (1987). Can pupils use taught analogies for electric current? *School and Science Review*, 68, pp. 249-254.
- BRITTON, B.K. (1994). Understanding expository text building mental structures to induce insights, en Gersbacher, M.A. (ed.). *Handbook of Psycholinguistics*. San Diego, C.A.: Academic Press.
- BROWN, D.E. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), pp. 17-34.
- BROWN, D.E. (1994). Facilitating conceptual change using analogies and explanatory models. *International Journal of Science Education*, 16(2), pp. 201-214.
- BROWN, D.E. y CLEMENT, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18, pp. 237-261.
- CAMPANARIO, J.M. y MOYA, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 179-192.
- CLEMENT, J.J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), pp. 1241-1257.
- CLEMENT, J.J. (1998). Expert novice similarities and instruction using analogies. *International Journal of Science Education*, 20(10), pp. 1271-1286.
- CLEMENT, J.J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1041-1053.
- COLLADO, I. y GARCÍA MADRUGA, J.A. (1997). Comprensión de textos expositivos en escolares: un modelo de intervención. *Infancia y Aprendizaje*, 78, pp. 87-105.
- COSGROVE, M. (1995). A case study of science-in-the-making as students generate an analogy for electricity. *International Journal of Science Education*, 17, pp. 295-310.
- CUDMANI, L.C., PESA, M.A. y SALINAS, J. (2000). Hacia un modelo integrador para el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), pp. 3-13.
- CURTIS, R.V. y REYGELUGH, C.M. (1984). The use of analogies in written text. *Instructional Science*, 13, pp. 99-117.
- DAGHER, Z.R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), pp. 601-614.
- DAGHER, Z.R. (1995a). Analysis of analogies used by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), pp. 259-270.
- DAGHER, Z.R. (1995b). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, 79(3), pp. 295-312.
- DREISTADT, R. (1968). An analysis of the use of analogies and metaphors in science. *Journal of Psychology*, 68, pp. 97-116.
- DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 3-15.
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), pp. 649-672.
- DUPIN, J.J., y JOSHUA, S. (1990). Una analogía térmica para la enseñanza de la corriente eléctrica en electricidad: descripción y evaluación. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), pp. 119-126.
- FRIEDEL, A.W., GABEL, D.L. y SAMUEL, J. (1990). Using examples for chemistry problem solving: does it increase understanding? *School Science and Mathematics*, 90, pp. 674-682.
- FURIÓ, C., BARRENETXEA, I. y REYES, J.V. (1994). Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 24, pp. 88-99.
- GEE, B. (1978). Models as a pedagogical tool: can we learn from Maxwell? *Physics Education*, 13, pp. 278-191.
- GENTNER, D. y GENTNER, D.R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity, en Gentner, D. y Stevens, A.L. (eds.). *Mental models*. Nueva York: LEA.
- GERSBACHER, M.A. (1995). The structure building frameworks: what is, what it might also be, and why, en Britton, B.K. y Graesser, A.C. (eds.). *Models of text understanding*. Hillsdale, Nueva Jersey: Erlbaum.
- GIL, D. (1996). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), pp. 111-121.
- GIL, D. (1996). New trends in science education. *International Journal of Science Education*, 18(8), pp. 889-901.
- GIL, D. et al. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 311-320.
- GILBERT, S.W. (1989). An evaluation of the use of analogy, simile and metaphor in science texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), pp. 315-327.
- GILBERT, J.K., BOULTER, C. y RUTHERFORD, M. (1998). Models in explanations. Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), pp. 83-97.
- GLYN, S.M. (1991). Explaining science concepts: A teaching with analogies model, en Glyn, S.M., Yeany, R.H. y Britton,

- B.K. (eds.). *The psychology of learning science*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.
- GLYN, S.M., BRITTON, B.K., SEMRUD-CLIKERMAN, M. y MUTH, K.D. (1989). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks, en Glover, J.A., Ronning, R.G. y Reynolds, C.R. (eds.). *A handbook of creativity: Assessment, research and theory*. Nueva York: Plenum.
- GONZÁLEZ-LABRA, M.J. (1997). *Aprendizaje por analogía: análisis del proceso de inferencia analógica para la adquisición de nuevos conocimientos*. Madrid: Trotta.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 289-304.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (2000). Mental models, conceptual models and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), pp. 1-11.
- GUTIÉRREZ, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique*, 7, pp. 73-87.
- HALLOUN, I. (1996). Schematic modelling for meaningful learning in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), pp. 1019-1041.
- HARRISON, A.G. y TREGUST, D.F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1011-1026.
- HEYWOOD, D. y PARKER, J. (1997). Confronting the analogy: primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning of electricity. *International Journal of Science Education*, 19(8), pp. 869-885.
- HOLLAND, J.H., HOLYOAK, K.J., NISBETT, R.E. y THAGARD, P.R. (1986). *Induction: processes of inference, learning and discovery*. Cambridge, Mass: The MIT Press.
- HOLYOAK, K.J. y KOTH, H. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory and cognition*, 14, pp. 332-340.
- 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.
- JARMAN, R. (1996). Students teachers' use of analogies in science instruction. *International Journal of Science Education*, 18(7), pp. 869-880.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KAUFMAN, D.R., PATEL, V.L. y MADGER, S.A. (1996). The explanatory role spontaneously generated analogies in reasoning about physiological concepts. *International Journal of Science Education*, 18(3), pp. 369-386.
- LAWSON, D.I. y LAWSON, A.E. (1993). Neural principles of memory and neural theory of analogical insight. *Journal of research in Science Teaching*, 30(10), pp. 1327-1348.
- MALONEY, D.P. (1988). Novice rules for projectile motion. *Science Education*, 72(4), pp. 501-513.
- MARTÍN, B. y MORENO, T. (1998). Las analogías en la enseñanza de las Ciencias. Comunicación presentada al II Simposio sobre la Docencia de las Ciencias Experimentales. Madrid.
- OGBORN, J. y MARTINS, I. (1996). Metaphorical understandings and scientific ideas. *International Journal of Science Education*, 18(6), pp. 631-652.
- OLIVA, J.M. (1996). Estudios sobre consistencia en las ideas de los alumnos en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), pp. 87-92.
- OLIVA, J.M. (1999a). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 93-108.
- OLIVA, J.M. (1999b). ¿A qué nos referimos cuando hablamos del nivel de estructuración de las concepciones de los alumnos? *Investigación en la Escuela*, 39, pp. 27-38.
- OLIVA, J.M., MATEO, J., BONAT, M. y ARAGÓN, M.M. (1997). Las analogías en los textos de química de secundaria. *Actas de la XXVI Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química*, vol. I, pp. 323-324. Cádiz.
- ORRANTIA, J., ROSALES, J. y SÁNCHEZ, E. (1995). La enseñanza de estrategias para identificar y reducir la información importante de un texto. Consecuencias para la construcción del modelo situacional. *Infancia y Aprendizaje*, 83, pp. 29-57.
- PACCA, J. y VILLANI, A. (2000). La competencia dialógica del profesor de ciencias en Brasil. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), pp. 95-104.
- POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. y GERTZOG, W. (1982). Accomodation of scientific conception : toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), pp. 211-227.
- POZO, J.I., GÓMEZ CRESPO, M.A. y LIMÓN, M. y SANZ, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: CIDE.
- POZO, J.I., SANZ, A. y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1995). Cambio conceptual: del conocimiento personal al conocimiento científico, en *Aspectos Didácticos de Física y Química (Física)*. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Zaragoza.
- PRO, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), pp. 21-41.
- REINER, M. y GILBERT, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science education. *International Journal of Science Education*, 22(5), pp. 489-506.
- RODNEY, R.B. y TREGUST, D.F. (1995). Analogies in chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, 17(6), pp. 783-795.
- SANJOSÉ, V., SOLAZ, J.J. y VIDAL-ABARCA, E. (1993). Mejorando la efectividad instruccional del texto educativo en ciencias: primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp. 137-148.
- STAVY, R. y TIROSH, D. (1993). When analogy is perceived as such. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), pp. 1229-1239.
- TENNEY, Y. y GENTNER, D. (1985). What makes analogies accessible: experiments on the water-flow analogy for electricity, en Duit, R., Jung, W. y Von Rhöneck, C. (eds.). *Aspects of understanding electricity*. Kiel: IPN - Schmidts y Klauning.
- THAGARD, P. (1992). Analogy, explanation and education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, pp. 537-544.
- TREGUST, D.F., DUIT, R., JOSLIN, P. y LINDAUER, I. (1992). Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. *International Journal of Science Education*, 14(4), pp. 413-422.

- THULLIER, (1988). *De Arquímedes a Einstein. Las caras ocultas de la invención científica*, 1. Madrid: Alianza.
- VIDAL-ABARCA, E., SANJOSÉ, V. y SOLAZ, J.J. (1995). Efectos de las adaptaciones textuales, el conocimiento previo y las estrategias de estudio en el recuerdo, la comprensión y el aprendizaje de textos científicos. *Infancia y Aprendizaje*, 67-68, pp. 75-90.
- WONG, E.D. (1993a). Self-generated analogies as a tool for constructing and evaluating explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), pp. 367-380.
- WONG, E.D. (1993b). Understanding the generative capacity of analogies as a tool for explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), pp. 1259-1272.
- ZOOK, K.B. (1991). Effect of analogical processes on learning and misrepresentation. *Educational Psychology Review*, 3, pp. 41-72.

[Artículo recibido en junio de 2000 y aceptado en mayo de 2001.]