

El modelo analógico como recurso didáctico en ciencias experimentales

BENIGNO MARTÍN GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Centro de Formación del Profesorado de La Laguna, Tenerife, España

Introducción

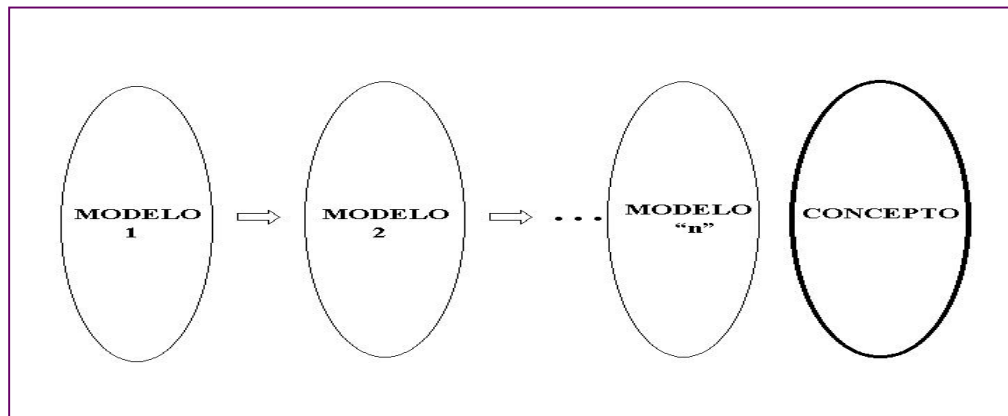
La comprensión y el razonamiento son dos objetivos esenciales en el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias, si bien –al tratarse de disciplinas que abordan conceptos científicos teóricos y abstractos– su consecución no siempre resulta fácil. De hecho, las representaciones de los conceptos científicos que los estudiantes construyen en sus mentes (representaciones internas) difieren, bastante a menudo, de las representaciones que han construido los científicos (representaciones externas).

Los conceptos científicos, o modelos conceptuales, son representaciones externas, “inventadas” en la mayoría de los casos por científicos para facilitar la comprensión, enseñanza y comunicación, de manera que son compartidos por la comunidad científica (Moreira, 2002). La comprensión del concepto científico implica disponer de una representación interna del mismo, es decir, construir un *modelo mental*. Ambos, modelo mental y concepto científico, son semejantes en su estructura y no en su aspecto o apariencia (Jonson-Laird, 1983). El modelo mental es la base del funcionamiento de la mente humana que permite aprender conceptos científicos. Es particular para cada uno de los estudiantes implicados en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Halford, 1993).

Se puede afirmar, por tanto, que el modelo conceptual es un instrumento de enseñanza y que el modelo mental es un instrumento de aprendizaje. El objetivo de la enseñanza de las ciencias es, a partir de modelos conceptuales, llevar a los estudiantes a construir modelos mentales adecuados (consistentes con los modelos conceptuales) de conceptos científicos. Esto último implica conocer la relación que existe entre ambos modelos, para garantizar el aprendizaje significativo (no mecánico, automático o sin significado) de los conceptos científicos (Moreira, 2002).

Cada estudiante construye el modelo mental a partir de la percepción, del discurso (representaciones proposicionales que lo conforman) o de la imaginación, de manera que entre el modelo y el concepto científico al que representa existe semejanza estructural, y no de apariencia o aspecto. Más tarde, a medida que el estudiante va adquiriendo un mayor conocimiento del concepto, este modelo inicial es revisado y posteriormente sustituido por otros modelos más funcionales y consistentes con el modelo conceptual, más próximos al significado del concepto. El modelo mental evoluciona de esta manera hacia el modelo científico, tal como se muestra en la figura 1 (González, 2002, p. 208).

FIGURA 1
Representación de la evaluación de diferentes modelos mentales de un concepto



La construcción del modelo mental de un concepto nuevo para el estudiante, concepto teórico y abstracto para el que no existen ejemplos perceptibles en el entorno, puede no resultar fácil. El proceso de construcción, en este caso, se facilita ofreciendo un modelo confeccionado en forma de comparación (Newton y Newton, 1995). Por tanto, la comparación es un recurso didáctico que se puede utilizar en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias y que tiene la finalidad de ayudar al estudiante a crear el modelo mental inicial que va a servir de base para el aprendizaje futuro.

Pero, ¿cómo se construye este modelo mental inicial? Se construye mediante una operación en la que se relacionan las representaciones de dos situaciones y se abstrae la estructura común para todas las relaciones existentes entre ellas (Gick y Holyoak, 1980). De esta manera el estudiante cuenta con un modelo mental que puede aplicar a futuros aprendizajes. Este modelo de comprensión es el objetivo de la analogía. La analogía es un intento más de modelizar en aras del aprendizaje, por lo que se puede afirmar que está inmersa en el campo de la modelización, es decir, de la elaboración de modelos en el proceso de enseñanza-aprendizaje en ciencias experimentales.

La analogía relaciona, por tanto, dos situaciones. Relaciona una situación familiar al estudiante con otra nueva o desconocida. La familiaridad facilita la correlación de la información y, también, la elaboración de modelos mentales más comprensibles, y contribuye de esta manera a un aprendizaje menos memorístico y más significativo (Clement, 1988, 1993; Duit, 1991; Glynn, 1991, 1995; Vosniadou y Ortony, 1989). Y es que, como comenta Glynn (1991), estas comparaciones actúan como puentes que permiten relacionar el conocimiento previo de los estudiantes y el nuevo conocimiento a aprender. Es decir, las comparaciones facilitan la conexión entre el conocimiento adquirido previamente y lo que se pretende aprender (Reigeluth, 1983). El docente debe, por tanto, averiguar en primer lugar el conocimiento que poseen los estudiantes y conectarlo posteriormente con el nuevo conocimiento a aprender. De esta manera se posibilita que cada uno de ellos adquiera un modelo mental inicial que sirva de base para organizar la información de lo que se aprende. En este proceso de comparación existe una transferencia desde una situación conocida a otra desconocida. Se transfiere aquello que es semejante y de interés desde la situación conocida –situación a la que se denomina “análogo” a la nueva situación desconocida –situación que se denomina “típico”–, tal como argumenta Ortony (1975).

El hecho de que sólo se transfiera aquello que es semejante y de interés del análogo caracteriza un tipo de razonamiento: el *razonamiento analógico*. Es éste un razonamiento imprescindible, es el proceso mental que tiene lugar cuando se usa la analogía. Ayuda a que el proceso de adquisición de nuevos conocimientos se desarrolle sobre la base de aquello que ya se ha aprendido. Permite hacer inferencias y construir hipótesis, razón fundamental por la que la analogía se utiliza para facilitar el aprendizaje de las ciencias.

La estructura mental que comprende la comparación y la transferencia de conocimiento desde el análogo al tópico se denomina *analogía* o *modelo analógico*. Se puede afirmar que toda analogía lleva implícito un razonamiento analógico que permite la transferencia conceptual entre el análogo y el tópico. En consecuencia, el estudiante se abastece de un modelo mental adecuado e imprescindible para posteriores aprendizajes.

La analogía es, por tanto, un recurso didáctico útil para aplicar en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Facilita la visualización de los conceptos teóricos abstractos, permite organizar y contextualizar la información, mejorando de esta manera su recuerdo, y favorece una disposición positiva hacia el aprendizaje. Permite construir el conocimiento y desarrollar el pensamiento creativo. Contribuye a que el estudiante tenga un aprendizaje significativo. La analogía es, en definitiva, un recurso didáctico útil que aporta conexiones entre el nuevo conocimiento y el que ya tiene el estudiante (Novak, 1990). Permite elevar a su máximo exponente la mítica frase de Ausubel (1960) de *“enseñar a partir de lo que los estudiantes ya saben”*.

Estructura externa e interna de la analogía

Si bien las afirmaciones anteriores ponen de manifiesto la importancia de la analogía en el proceso enseñanza aprendizaje, no aportan una definición clara y concisa de la analogía que explicita cuál es su estructura y cómo se relacionan el análogo y el tópico. Tampoco permiten diferenciar las analogías de otros tipos de comparaciones utilizadas como recursos didácticos, y discernir acerca de las variables relacionadas con la efectividad de una analogía y con los pasos y variables que intervienen en el razonamiento analógico.

Las investigaciones llevadas a cabo por Dagher y Cossman (1992), Davis y Davidson (1994), Donnelly y Mc. Daniel (1993), Glynn (1991), Glynn, Britton, Semrud-Clikeman y Muth (1989), Glynn, Law y Dossier (1989), Glynn, Russell y Noah (1997), Idding (1997), Simons (1984), Thiele y Treagust (1994), Wess (1982) y Wong (1993) permiten afirmar lo siguiente:

- 1) La analogía se utiliza en la explicación de una situación o concepto nuevo (tópico) mediante la comparación con una situación o concepto conocido (análogo).
- 2) El análogo y el tópico son diferentes, aunque presentan características similares o semejantes.
- 3) La analogía es un proceso en el que, mediante la comparación del análogo y del tópico, se establece un tejido o trama de relaciones¹ entre las características similares de ambos. Esta

¹La trama de relaciones que se establece en la analogía se denomina, con bastante frecuencia, *relación analógica*.

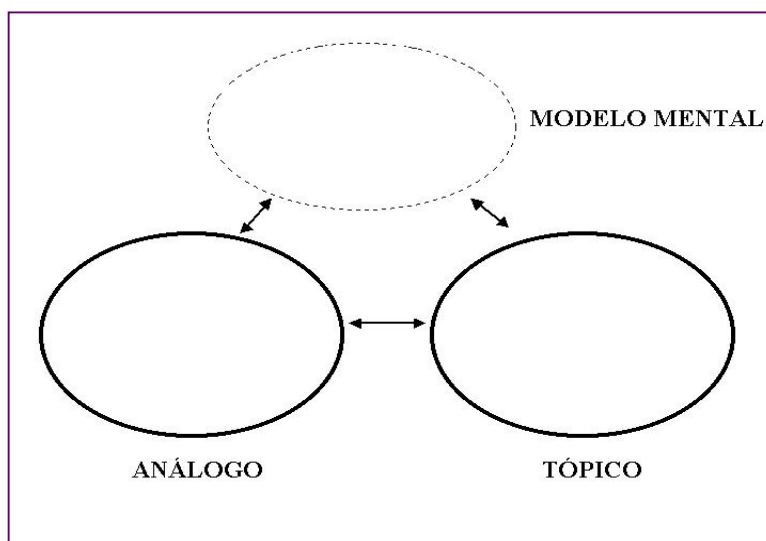
trama de relaciones puede concebirse como un esquema que relaciona las características similares entre análogo y tópico.

- 4) La finalidad de la analogía es la comprensión de la situación nueva o desconocida, es decir, del tópico. Esta comprensión se consigue porque la analogía facilita el desarrollo de modelos conceptuales del tópico y permite que haya una transferencia de conocimiento desde el análogo al tópico.

Por otro lado, Treagust, Duit, Joslin y Lindauer (1992) observaron que los docentes, a menudo, alternan en sus explicaciones el rol del análogo y del tópico. Es decir, usan de manera indiscriminada tanto el análogo como el tópico para desarrollar este último. Este hecho es de gran importancia y ha llevado a los autores a afirmar lo siguiente: *"siempre que se usa una analogía no sólo se explica el tópico sino que también se desarrolla el análogo. Esto es debido a que el análogo puede verse desde una nueva perspectiva, desde la perspectiva del tópico"* (Treagust, Duit, Joslin y Lindauer, 1992, p. 419). Este hecho también es argumentado por Glynn (1991) y Duit (1991) al afirmar que el uso de la analogía es un proceso de comparación en el que se desarrollan tanto el análogo como el tópico.

Se puede alegar en base a todas estas argumentaciones que los elementos que constituyen la analogía son: el análogo, el tópico y la trama o esquema de relaciones que se establece entre ambos y cuya estructura común va a originar el modelo mental. La figura 2 (González, 2002, p. 210) muestra la representación de la estructura externa de una analogía. Se ha querido reflejar mediante las flechas dobles las aportaciones de Treagust, Duit, Joslin y Lindauer, así como la relación que existe entre el análogo, el tópico y el modelo mental.

FIGURA 2
Estructura externa de una analogía



La analogía puede concebirse como un proceso en el que, mediante la comparación del análogo y del tópico, se establece una correspondencia de relaciones entre las características similares de ambos. Se puede imaginar esta malla de relaciones como un entretejido que relaciona las características similares del análogo y del tópico, y que se llama *trama de relaciones* o *relación analógica*.

El tipo de semejanza y las características similares que forman parte de la trama de relaciones constituyen la estructura interna de la analogía. Las investigaciones llevadas a cabo en este sentido por Duit (1991), Gentner, Forbus y Kenneth (1996), Halford (1992), Iding (1997), Newton y Newton (1995), Treagust, Duit, Joslin y Lindauer (1992) y Zook (1991) permiten afirmar lo siguiente:

- 1) Entre el análogo y el tópico existe un tipo de semejanza, la semejanza estructural.
- 2) En el proceso de comparación que tiene lugar en la analogía entre el análogo y el tópico interviene la semejanza estructural.
- 3) La semejanza estructural afecta sólo a parte de las estructuras del análogo y del tópico.
- 4) En la analogía tiene lugar una transferencia de conocimiento desde parte de la estructura del análogo a parte de la del tópico. Es decir, la transferencia de conocimiento se produce desde la semejanza estructural.
- 5) Las estructuras del análogo y del tópico se pueden representar mediante esquemas.

Las investigaciones llevadas a cabo por Gentner (1983, 1989) sobre la analogía y el razonamiento analógico han culminado en el denominado *modelo estructural de razonamiento analógico*. Dicho modelo admite lo siguiente:

- 1) Que tanto el análogo como el tópico están constituidos por elementos y que éstos forman parte de su estructura.
- 2) Que cada elemento viene caracterizado por una serie de propiedades o características.
- 3) Que entre los elementos existen conexiones que son las correlaciones o comparaciones entre estos elementos.
- 4) Que estas conexiones constituyen la estructura del análogo y del tópico.

Por otro lado, investigaciones recientes fundamentadas en una revisión bibliográfica (Fernández, González y Moreno, 2003 y 2005; González, 2002; González y Moreno, 1998 y González, Moreno y Fernández, 2000) han conducido a denominar *componentes* a los elementos que constituyen el análogo y el tópico, y *nexos* a las conexiones que existen entre estos elementos ("componentes"); a las características de estos componentes se les denomina *atributos* y *malla o relación analógica* al conjunto de relaciones de características similares entre el análogo y el tópico que constituye el modelo mental. En lo sucesivo, siempre que se alude a la estructura interna de la analogía, se utilizan estas denominaciones.

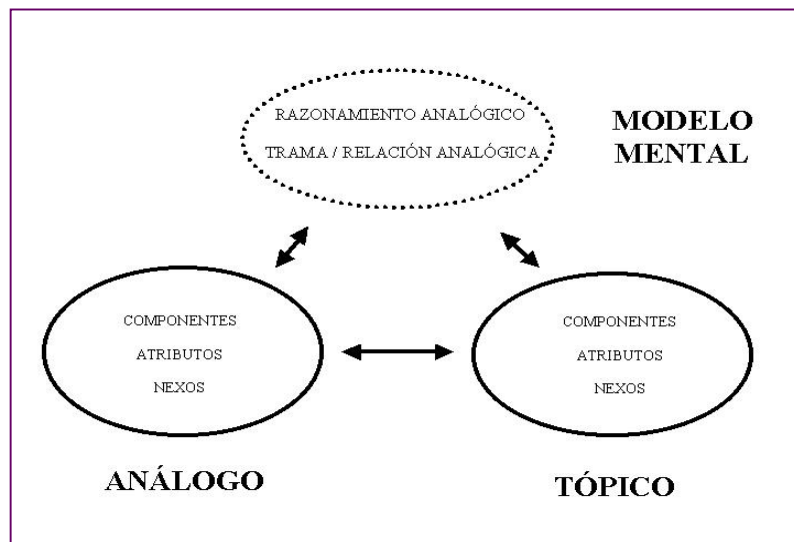
Además, el *modelo estructural* del razonamiento analógico distingue las comparaciones de atributos de componentes, a las que denomina comparaciones de orden inferior, de las comparaciones de nexos, a las que denomina de orden superior. Establece que la finalidad de la analogía es la comprensión del tópico por transferencia de conocimiento desde el análogo al tópico, y que esta transferencia de conocimiento se produce por comparación de nexos semejantes (semejanza estructural) en su estructura y/o significado. A esto último se denomina –en este *modelo estructural*– con el nombre de *principio de sistematicidad*.

Por lo tanto, se puede afirmar lo siguiente:

- 1) Las comparaciones de nexos (características estructurales) semejantes del análogo y del tópico son la parte fundamental de la *trama* o *relación analógica*. Esto se denomina semejanza estructural, que afecta a su configuración, pero que incluso puede alcanzar al significado (semejanza semántica).
- 2) Las comparaciones de atributos (características superficiales) semejantes entre el análogo y el tópico tienen un carácter más secundario en la relación analógica. Se denomina semejanza superficial.

La figura 3 (González, 2002, p. 304) muestra la estructura de la analogía, coherente con estas argumentaciones:

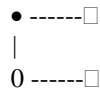
FIGURA 3
Estructura de la analogía



El análogo es el punto de partida de la analogía. Representa el conocimiento que posee el estudiante, conocimiento que va a conectarse –mediante la comparación– con el que se va a aprender. Su estructura está constituida por los componentes y sus atributos y por los nexos y las características de estos nexos. Las características de los componentes se denominan características superficiales del análogo, y las de los nexos características estructurales.

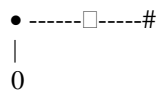
Si se supone que el análogo está constituido por tres componentes, que dichos componentes quedan representados por los símbolos "o", "□" y "•", y que los nexos entre estos componentes se pueden representar por la unión mediante guiones, se puede admitir la siguiente representación esquemática para la estructura del análogo.

Estructura del análogo:

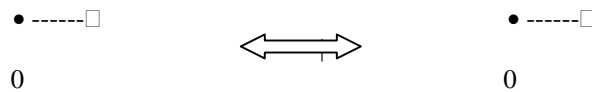


En lo que respecta al tópic, se supone que está constituido por cuatro componentes que quedan representados mediante los siguientes símbolos: $o \square \bullet \#$. Se admite, nuevamente, que los nexos entre estos componentes pueden representarse mediante guiones, de modo que la estructura del tópic es la que se muestra en el siguiente esquema:

Estructura del tópic:

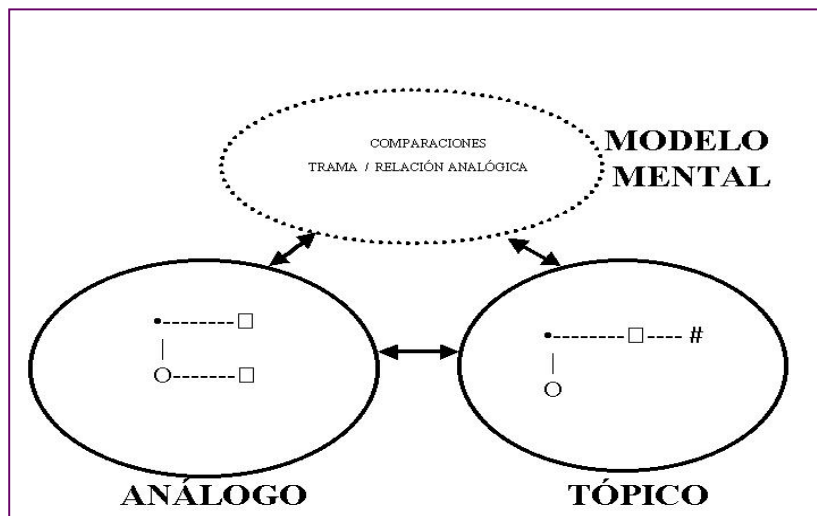


Se puede observar que entre ambas estructuras existe semejanza. Es decir, entre ambas estructuras existe semejanza entre nexos o semejanza estructural. La trama que relaciona los nexos semejantes del análogo y del tópic es la siguiente:



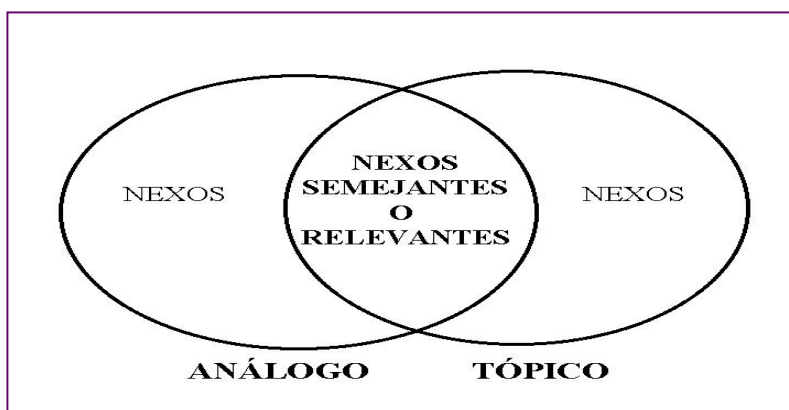
La estructura de una analogía puede quedar, por lo tanto, representada como se indica en la figura 4 (González, 2002, p. 309):

FIGURA 4
Representación de la estructura de una analogía



Resulta de las argumentaciones anteriores que los nexos semejantes constituyen un subconjunto dentro de la totalidad de nexos del análogo y del tópico. Si un nexo del análogo no tiene su semejante en el tópico, o viceversa, dicho nexo no es relevante. En la analogía los nexos semejantes en el análogo y el tópico van a ser, por lo tanto, los nexos relevantes. La figura 5 (González, 2002, p. 218) pone de manifiesto este hecho, denominado en el *modelo estructural* con el nombre de *restricción estructural* en la analogía. Es decir, que en el conocimiento que se transfiere no interviene toda la estructura del análogo y del tópico.

FIGURA 5
Nexos relevantes



La semejanza estructural nunca afecta, por tanto, a la totalidad de la estructura del análogo y del tópico, es decir, a la totalidad de los nexos de ambos. Siempre existirán nexos que no se corresponden, que no son semejantes y, por lo tanto, que no serán relevantes para la analogía.

La figura 4 muestra la concordancia de la analogía con el modelo estructural y con la representación de la estructura de analogía que se muestra en la figura 3. Los símbolos (o □ • #) representan los componentes del análogo y del tópico. Las uniones de los componentes con guiones representan los nexos. Se puede observar que la semejanza estructural es alta y que no afecta a la totalidad de la estructura. Cabe señalar que, tanto Moreira (2002) como Johnson-Laird (1996) hacen propuestas que tienen el mismo significado que el barajado aquí en la concepción del "modelo mental", que está implícito en la "trama o relación analógica", que relaciona al análogo y al tópico de una analogía. Hay que señalar que en una analogía el "análogo" es en cierta forma un recurso de enseñanza y "la trama" es el artificio cognitivo de aprendizaje.

Se constata, por tanto, que la analogía representa todo un proceso complejo y que todo intento que conduzca a definirla puede estar abocado a la imprecisión. Sin embargo, se ha buscado la siguiente propuesta explicativa del procedimiento que se asocia a la denominación de analogía: "Una analogía es una propuesta representativa de las estructuras del análogo y del tópico. Mediante una trama de relaciones se comparan, fundamentalmente, los nexos semejantes entre ambos. Su finalidad es la comprensión y el aprendizaje del tópico mediante la transferencia de conocimiento del análogo al tópico. Las comparaciones de atributos semejantes tienen un carácter secundario" (González, 2002).

Tal como se comentó anteriormente, el proceso que posibilita que el estudiante disponga de un modelo mental adecuado e imprescindible para futuros aprendizajes se denomina razonamiento analógico. Holyoak y Koh (1987) definen el razonamiento analógico como un proceso en el que, por transferencia de conocimiento a partir de una situación conocida (análogo), se genera conocimiento aplicable a una situación nueva (tópico). Las investigaciones llevadas a cabo en este campo (Clement y Gentner, 1991; Gentner, 1983, 1989; Gentner y Gentner, 1983; Gentner y Landers, 1985; Gick y Holyoak, 1980, 1983; González Labra, 1997; Holyoak y Thagard, 1989; Keane, 1988; Medin y Ortony, 1989; Vosniadou, 1989 y Zook y Di Vesta, 1991) admiten que el razonamiento analógico:

- 1) Está constituido por dos procesos:
 - a) Acceso al análogo
 - a.1) Representación mental del análogo y del tópico.
 - a.2) Búsqueda e identificación del análogo. El estudiante debe comprender el análogo con algún grado de convicción.
 - a.3) Recuperación del análogo.
 - a.4) Confirmación de la plausibilidad de la trama o relación analógica entre el análogo y el tópico; inicialmente los estudiantes tienen incertidumbre para ver el tópico como algo similar al análogo.
 - b) Extrapolación o establecimiento de comparaciones entre la información relevante del análogo y del tópico.
 - b.1) Descartar los atributos de los componentes.
 - b.2) Conservar los nexos entre componentes.
 - b.3) Decidir cuales son los nexos relevantes.
- 2) El proceso de extrapolación es el proceso fundamental del razonamiento analógico.
- 3) El razonamiento analógico se completa con la transferencia de conocimiento y aprendizaje.

Parece que en el proceso de extrapolación no intervienen con intensidad los atributos de los componentes. Es decir, las comparaciones entre los atributos semejantes del análogo y del tópico son débiles. Recordar que se trata de comparaciones de orden inferior y que constituyen la denominada semejanza superficial de la analogía.

Sin embargo, investigaciones más recientes apuntan a que en el proceso de extrapolación también interviene la semejanza superficial (la semejanza entre los atributos). En ellas se ha constatado que la semejanza superficial, más intuitiva que la semejanza estructural, actúa dirigiendo a los estudiantes hacia el reconocimiento de los nexos relevantes en el proceso de extrapolación (Medin y Ortony, 1989). Este hecho posibilita lo siguiente:

- 1) Que el razonamiento analógico ocurra con mayor rapidez.
- 2) Que los estudiantes usen la analogía de forma espontánea, es decir, que descubran los nexos relevantes sin la guía del docente.

Se puede afirmar que la semejanza superficial es un arma de doble filo ya que puede tener consecuencias negativas en el razonamiento analógico de los estudiantes más jóvenes. Estos estudiantes, en su proceso de maduración y de comprensión de la analogía, van sustituyendo la semejanza superficial por la semejanza estructural (Gentner y Gentner, 1983; Zook y Di Vesta, 1991) en el proceso de extrapolación.

El proceso fundamental del razonamiento analógico es el de extrapolación. Si se tiene en cuenta el principio de sistematicidad del modelo de extrapolación estructural, en este proceso el estudiante tiene que:

- a) Distinguir los atributos y los nexos entre componentes del análogo y del tópico.
- b) Conservar sólo los nexos semejantes.
- c) Realizar comparaciones sólo en una parte de la estructura del análogo y del tópico, la que comprende los nexos que son semejantes (*criterio de restricción estructural*).

Por lo tanto, la transferencia de conocimiento tiene lugar mediante la comparación de nexos semejantes (*semejanza estructural*).

Holyoak y Thagard (1989) y Thagard (1992) ahondan en la semejanza de nexos y argumentan que cuando en el análogo y en el tópico existen nexos con semejanza semántica, es decir, nexos responsables de que el análogo y el tópico presenten una función o comportamiento semejantes, la transferencia de conocimiento tiene lugar, fundamentalmente, entre ellos. Estos nexos actúan, por lo tanto, gobernando el conocimiento que se transfiere entre el análogo y el tópico.

Las argumentaciones que se han realizado hasta el momento ponen de manifiesto la importancia de las analogías y el razonamiento analógico en el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias y aportan una explicación acerca de su concepción y estructura. A continuación, a título de ejemplo, se explicita el análisis de una analogía con la finalidad de clarificar todos estos aspectos. Se trata de una analogía con la que se intenta explicar el concepto de enlace químico (tópico) mediante la lucha de la cuerda entre dos personas (análogo).

“Los enlaces químicos covalentes que unen los átomos pueden compararse a la lucha de la cuerda entre dos personas” (Thagard, 1992, p. 540).

Los componentes del análogo son la persona A, la persona B y la cuerda, y los componentes del tópico son el átomo A, el átomo B y los electrones. Los atributos del análogo son, por ejemplo, el aspecto físico, de la persona A y de la persona B, el grosor de la cuerda [...] Los atributos del tópico son, por ejemplo, la forma y el tamaño de los átomos [...] Los nexos que existen entre los componentes del análogo son los siguientes: distancia entre la persona A y la persona B, longitud de la cuerda entre la persona A y la persona B y la lucha (por la cuerda) entre las dos personas. Los nexos que existen entre los componentes del tópico son los siguientes: distancia entre el átomo A y el átomo B, número de electrones compartidos entre el átomo A y el átomo B y la lucha (por los electrones) entre los dos átomos.

La trama o relación analógica es la siguiente:

| | | |
|---|---|---|
| Distancia entre la persona A y la persona B | ↔ | Distancia entre el átomo A y el átomo B |
| Longitud de la cuerda entre la persona A y la persona B | ↔ | Electrones compartidos entre el átomo A y el átomo B |
| Lucha (por la cuerda) entre las dos personas | ↔ | Lucha (por los electrones compartidos) entre los dos átomos |

La distancia entre las dos personas y la distancia entre los dos átomos guarda *semejanza estructural*, al igual que la longitud de la cuerda entre las dos personas y el número de electrones compartidos entre los dos átomos. No existe, sin embargo, *semejanza semántica* entre estos dos nexos.

La *semejanza semántica* se manifiesta entre el enlace y el agarre de la cuerda y está presente en la última comparación de la trama: la lucha de la cuerda entre las dos personas y la lucha por los electrones compartidos entre los dos átomos. Es por tanto, esta comparación entre nexos con *semejanza semántica* la que gobierna la transferencia de conocimiento entre el análogo y el tópic.

Proceso analógico de enseñanza-aprendizaje

Existe la posibilidad de que la interpretación analógica que los estudiantes construyen no sea la adecuada y que, además, no sean conscientes de ello. También es posible que el análogo y el tópic permanezcan divorciados, de modo que el razonamiento analógico no tenga lugar en los estudiantes. Por este motivo Duit (1991) argumenta que se deben encontrar estrategias o modelos de enseñanza que superen estas dificultades.

Uno de estos modelos, o puesta en acción del proceso analógico, es el *Teaching with Analogies Model* (Modelo de Enseñanza con Analogías), conocido por las siglas TWA, que propone Glynn (1991). Está basado en los estudios analíticos que se han hecho sobre las analogías presentes en los libros de texto de ciencias de autores ejemplares.

A continuación se propone una puesta en acción del proceso analógico de enseñanza-aprendizaje, como variante de la TWA, que tenga en cuenta el diseño del análogo. Se denomina *Aprendizaje Con Analogías (ACA)* (González, 2002, p. 316-320) y consiste en las tres fases siguientes:

- Diseño del análogo.
- Proceso de enseñanza-aprendizaje de la analogía.
- Evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje.

La fase inicial en el proceso analógico de enseñanza-aprendizaje es el diseño del análogo. Diseñar el análogo significa tener en cuenta cada uno de los requisitos siguientes:

- i) Diseño de un análogo atractivo e idóneo a la edad madurativa, conocimiento e intereses de los estudiantes.
- ii) Reconocer el grado de semejanza que los estudiantes pueden establecer entre el análogo y el tópico. Explorar la trama o relación analógica que puede resultar de la comparación entre ambos.
- iii) Analizar las dificultades que pueden surgir en el proceso de enseñanza-aprendizaje para que tenga lugar el razonamiento analógico apropiado. Es decir, las dificultades que pueden surgir al establecer las comparaciones entre la información relevante del análogo y del tópico, comparaciones que van a garantizar la idoneidad de la analogía.

En el diseño del análogo se deben tener en cuenta, además, los siguientes criterios relacionados con el contexto en el que se presenta la analogía, como son:

- El momento de la explicación en el que se escenifica la analogía.
- El formato en el que se presenta el análogo: verbal, pictórico o pictórico-verbal. La comprensión y el aprendizaje del tópico puede variar con cada uno de ellos, por lo que se debe ser consciente de este hecho al diseñar el análogo.
- La presencia o ausencia de una explicación del análogo a los estudiantes. La explicación va a permitir ilustrar a los estudiantes cuáles son sus características estructurales, es decir, cuáles son sus nexos. Es obvio que la presencia o ausencia de la explicación puede influir en el proceso analógico de enseñanza-aprendizaje.
- El momento en el que se presenta el análogo: antes de la explicación del tópico, durante dicha explicación o después de ella. La elección de cada una de estas opciones puede afectar al proceso analógico de enseñanza aprendizaje.
- El nivel de abstracción del análogo que se utiliza en la analogía. El análogo puede ser concreto o abstracto, hecho que puede influir en la mayor o menor familiaridad del mismo y en la visualización del tópico, afectando por tanto a su comprensión y aprendizaje.
- El número de análogos que se utilizan para explicar el tópico. Se pueden utilizar uno o varios análogos para explicar un mismo tópico. También se pueden utilizar varios análogos para explicar aspectos diferentes de un mismo tópico. Este hecho puede influir en el proceso analógico de enseñanza- aprendizaje.

Al analizar las dificultades del proceso de enseñanza-aprendizaje se debe observar si pueden influir en él los aspectos contextuales siguientes:

- Los relacionados con la extrapolación o establecimiento de comparaciones entre el análogo y el tópico.
- Los relacionados con la simulación analógica que puede acompañar a la puesta en acción de una analogía.

Se debe tener en cuenta que el docente o autor/a del libro de texto puede explicitar, e incluso dibujar, el esquema de la trama de relaciones entre el análogo y el tópico. Por el contrario, puede que esta explicación no se lleve a cabo y que tengan que ser los propios estudiantes los que descubran la trama de relaciones o esquema de comparaciones entre los nexos semejantes entre el análogo y el tópico. En este último caso cabe la posibilidad de que los estudiantes establezcan comparaciones entre nexos no semejantes o entre atributos irrelevantes y que se produjese una transferencia de conocimiento no deseable. También es conveniente conocer que la puesta en acción de una analogía puede estar acompañada de la representación o reproducción del tópico, con los diferentes elementos que constituyen el análogo, mediante una simulación analógica. Se trata de que el docente, o el autor/a del libro de texto, proponga al estudiante que realice la simulación para, de esta forma, reducir las dificultades del proceso de enseñanza-aprendizaje y garantizar la idoneidad de la analogía.

El proceso de enseñanza-aprendizaje comprende los pasos siguientes:

1) Introducir el tópico.

Se trata de presentar a los estudiantes el tópico, con sus características más relevantes, de manera que puedan disponer de una representación mental del mismo.

2) Identificar las características relevantes del análogo.

Se trata de orientar a los estudiantes en la búsqueda, identificación y recuperación de la memoria (recordar lo que conocen) de un análogo familiar, ayudarles a la representación mental de un análogo que forme parte de sus experiencias cotidianas, resaltando sus características.

3) Establecer las comparaciones entre el análogo y el tópico.

El análogo debe ser convincente, esto es, que presente una relación analógica plausible con el tópico y, por lo tanto, sea un análogo del que se tiene total seguridad de su similitud con el tópico. La comprensión y el aprendizaje del tópico conlleva la transferencia de conocimiento desde el análogo al tópico. Esta transferencia tiene lugar entre componentes, atributos y nexos semejantes, por lo que el análogo debe presentar semejanza estructural con el tópico. Es decir, entre el análogo y el tópico debe existir una gran semejanza estructural y semántica. Las comparaciones que se establecen son fundamentalmente entre nexos semejantes. Básicamente estas comparaciones son las responsables de la transferencia de conocimiento y, por tanto, de la comprensión y el aprendizaje. Las comparaciones entre atributos carecen de importancia en lo que respecta a la transferencia de conocimiento.

4) Identificar las limitaciones de la analogía.

Se propone hacer ver a los estudiantes los campos de validez de las comparaciones establecidas, destacando casos límite para los que no es factible la extrapolación de la analogía. Se pueden explicitar las limitaciones de la analogía en un intento de garantizar que no se transfiera conocimiento irrelevante entre el análogo y el tópico.

En el proceso analógico de enseñanza-aprendizaje, como en cualquier proceso de enseñanza-aprendizaje, tiene lugar de manera implícita o explícita un análisis o evaluación del mismo.

Hay que tener en cuenta que por muy alta que sea la semejanza estructural entre el análogo y el tópic, ésta nunca será total y siempre existirán limitaciones en la analogía. Es probable, por tanto, que como consecuencia de extralimitaciones los estudiantes adquieran conclusiones erróneas sobre el tópic, causadas por la transferencia de conocimiento no deseable desde el análogo al tópic.

Por este motivo es muy importante reflexionar y analizar la influencia de aquellos aspectos relacionados con el contexto en el que se desarrolla la analogía. Este análisis involucra a cada una de las fases del proceso analógico de enseñanza-aprendizaje: diseño del análogo y proceso de enseñanza-aprendizaje.

Se entiende que con el análisis o evaluación es posible evitar la transferencia de conocimiento no deseable desde el análogo hacia el tópic –y, por lo tanto, detectar la efectividad de la analogía– y optimizar el proceso analógico de enseñanza-aprendizaje.

Bibliografía

- AUSUBEL, D.: The use of Advance Organizers in the Learning and Retention of Meaningful Verbal Material, *Journal of Educational Psychology*, vol. 51, 1960, pp. 267-272.
- CLEMENT, C., y GENTNER, D.: Systematicity as a Selection Constraint in Analogical Mapping, *Cognitive Science*, vol. 15, 1991, pp. 89-132.
- CLEMENT, J.: Observed Methods for Generating Analogies in Scientific Problem Solving, *Cognitive Science*, vol. 12, 1988, pp. 563-586.
- : Using Bridging Analogies and Anchoring Intuitions to Deal with Students' Preconceptions in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30 (10), 1993, pp. 1241-1257.
- DAGHER, Z., y COSSMAN, G.: Verbal Explanations Given by Science Teachers: Their Nature and Implications. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29 (4), 1992, pp. 361-374.
- DAVIS, P., y DAVIDSON, G.: Language is Like the Human Body: Teaching Concepts Through Analogy, *Educational Technology*, vol. 34 (5), 1994, pp. 27-32.
- DONNELLY, C., y MCDANIEL, M.: Use of Analogy in Learning Scientific Concepts, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, vol. 19 (4), 1993, pp. 975-987.
- DUIT, R.: On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, vol. 75 (6), 1991, pp. 649-672.
- FERNÁNDEZ, J., GONZÁLEZ, B., y MORENO, T.: Las analogías como modelo y como recurso en la enseñanza de las ciencias, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (35), 2003, pp. 82-89.
- : Hacia una evolución de la concepción de analogía: aplicación al análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 23 (1), 2005, pp.33-46.
- GENTNER, D. Structure-Mapping: a Theoretical Framework for Analogy, *Cognitive Science*, vol. 7, 1983, pp. 155-170.
- : *Similarity and analogical reasoning*, S. VOSNIADOU y A. ORTONY (eds.), Cambridge University Press, London, 1989.
- , y FORBUS, K. D.: [en línea]. Analogy, Mental Models, and Conceptual Change. <<http://www.grg.ils.nwu.edu/>>, 1996, [consulta: 01 junio 1998].
- GENTNER, D., y GENTNER, E. R.: *Mental models*, New Jersey, GENTNER y A. L. STEVENS (eds.), Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1983
- GICK, M., y HOLYOAK, K.: Analogical problem solving, *Cognitive Psychology*, (12), 1980, pp. 306-355.
- GICK, M. Y HOLYOAK, K.: Schema induction in analogical transfer, *Cognitive Psychology*, (15), 1983, pp.1-38.
- GLYNN, S.: *The Psychology of Learning Science*, London, GLYNN, S; YEANY, R., y BRITTON (eds.), 1991.
- : Conceptual Bridges. Using analogies to explain scientific concepts, *Science Teacher*, vol. 62, (9), 1995, pp. 25-27.

- , BRITTON, B., SEMRUD-CLIKEMAN, M., y MUTH, K. D.: *A handbook of creativity: Assessment, theory, and research*, New York, Glover, R. R. RONNING, y C. R. Reynolds (eds.), 1989.
- , LAW, M., y DOSTER, E.: *Learning From Text Across Conceptual Domains*, London, Cynthia R. Hynd (Eds.), 1998.
- GONZÁLEZ, B. M.: *Las analogías en el proceso Enseñanza-Aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza*, La Laguna (Tenerife), Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna, 2002.
- , y MORENO, T.: Las analogías en la enseñanza de las Ciencias, *La Docencia de las Ciencias Experimentales en la Enseñanza Secundaria*, 1998, pp.204-206.
- , MORENO, T. y FERNÁNDEZ, J.: Modelos de enseñanza con analogías, *Actas de los XIX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2000, pp. 161-169.
- GONZÁLEZ L., M. J.: *Aprendizaje por analogía*. Madrid, Editorial Trotta, S.A., 1997.
- HALFORD, G.: *Children's Understanding*, New Jersey, Lawrence Erlbaum Editors, 1993.
- HOLYOAK, K., y KOH, K.: Surface and structural in analogical transfer, *Memory and Cognition*, vol. 15 (4), 1987, pp.332-340.
- , y THAGARD, P.: Analogical Mapping by Constraint Satisfaction, *Cognitive Science*, vol. 13, 1989, pp. 295-355.
- IDING, M.: How analogies foster learning from science texts, *Instructional Science*, vol. 25 (4), 1997, pp. 233-253.
- JOHNSON-LAIRD, P. N.: *Mental models*, Cambridge, M.A, Harvard University Press, 1983.
- KEANE, M.: Analogical mechanisms, *Artificial Intelligence Review*, vol. 2, 1988, pp. 229-250.
- MEDIN, D., y ORTONY, A.: *Similarity and Analogical Reasoning*, Cambridge, VOSNIADOU y A. ORTONY (eds.), Cambridge University Press, 1989.
- MOREIRA, M. A.: Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza-aprendizaje de la Física y en la investigación en este campo, *XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2002, pp. 31-47.
- NEWTON, D., y NEWTON, L.: Using Analogy to Help Young Children Understand, *Educational Studies*, vol. 21 (3), 1995, pp. 379-393.
- NOVAK, J.: *Teoría y práctica de la educación*, Madrid, Alianza Editorial, 1990.
- ORTONY, A.: Why metaphors are necessary and not just nice, *Educational Theory*, (25), 1975, pp. 45-53.
- REIGELUTH, C.: Meaningfulness and instruction: Relating what is being learned to what a student knows, *Instructional Science*, vol. 12, 1983, pp. 197-218.
- SIMONS, P.: Instructions with analogies, *Journal of Educational Psychology*, vol. 76 (3), 1984, pp. 513-527.
- THAGARD, P.: Analogy, Explanation and Education, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29 (6), 1992, pp.537-544.
- THIELE, R., y TREAGUST, D.: The nature and extent of analogies in secondary chemistry textbooks, *Instructional Science*, vol. 22 (1), 1994, pp. 61-74.
- TREAGUST, D.; DUIT, R.; JOSLIN, P., y LINDAUER, I.: Science teachers use of analogies: observations from classroom practice, *International Journal of Science Education*, vol. 14 (4), 1992, pp. 413-422.
- VOSNIADOU, S.: *Similarity and Analogical Reasoning*, Cambridge, S. VOSNIADOU y A. ORTONY (eds.), Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- WONG, E. D.: Understanding the Generative Capacity of Analogies as a Tool for Explanation, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30 (10), 1993, pp. 1259 -1272.
- ZOOK, K., y DI VESTA, F.: Instructional Analogies and Conceptual Misrepresentations, *Journal of Educational Psychology*, vol. 83 (2), 1991, pp. 246-252.