

Una revisión de los procesos de transferencia para el aprendizaje y enseñanza de las ciencias

**Carlos B. Gomez, Vicent Sanjosé y
Joan Josep Solaz-Portolés**

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials
Universitat de València

Resumen: En este trabajo se introduce el concepto de transferencia en el aprendizaje, se clasifican en sus diferentes tipos y se discute su importancia en la resolución de problemas de ciencias y matemáticas. Además se discute el papel de los procesos de transferencia y cómo se pueden mejorar en la enseñanza de las ciencias. A partir de todo ello, se recomiendan algunas medidas instruccionales que pueden ser aplicadas en el aula de ciencias.

Palabras clave: transferencia, resolución de problemas, enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Abstract: In this paper we introduced the concept of transfer in learning tasks, we classify the different types of transfer and we show its importance in problem-solving in science and mathematics. Moreover, it is brought out the role of transfer processes and how they can be improved in science teaching and in science problem-solving. Finally, a series of instructional measures that can be applied in the science classroom are recommended.

Key Words: transfer, problem-solving, science teaching and learning.

(Fecha de recepción: junio, 2012, y de aceptación: septiembre, 2012)

DOI: 10.7203/DCES.26.1934

Introducción

Es un hecho constatado que la mayoría de las investigaciones sobre el aprendizaje de las ciencias no se centran en los procesos cognitivos (Siegler, 2006). Sin embargo, la comprensión de los procesos cognitivos subyacentes en el aprendizaje de las ciencias son esenciales para el diseño y desarrollo de programas instruccionales más eficientes. La transferencia, se puede definir como la habilidad de aplicar lo que ha sido aprendido en un determinado contexto a nuevos contextos (Byrnes, 1996). Se trata de un proceso cognitivo esencial en la educación (Voss, 1987) y, por ello, resulta especialmente importante comprender las diferentes experiencias de aprendizaje que conducen al éxito en la transferencia. Sin embargo, y a pesar que los psicólogos de la educación llevan ocupándose de la transferencia desde comienzos del siglo XX (desde los conductistas hasta los cognitivistas y constructivistas), ésta ha constituido un tema periférico en el ámbito de las ciencias cognitivas: sólo un 1% de los trabajos de las revistas más prestigiosas se han ocupado de la transferencia (Chen y Klahr, 2008).

Las investigaciones sobre transferencia en el aprendizaje señalan las enormes dificultades que suelen tener los estudiantes de todos los niveles académicos para transferir lo que han aprendido en el aula a nuevas situaciones o problemas, sean o no académicos (Bransford, Brown y Cocking, 2000). Por ejemplo, en el caso particular de la enseñanza de las ciencias se han encontrado también dificultades

para la transferencia de aprendizajes (Ceci, 1991; Barnett y Ceci, 2002). En las ciencias físicas, suele atribuirse el fracaso en la resolución de problemas por transferencia a la falta de dominio matemático. No obstante, Sanjosé y colaboradores (2007) verificaron con estudiantes de enseñanza secundaria que las dificultades matemáticas no son necesariamente el principal obstáculo en la transferencia en resolución de problemas en Física y Química.

Aunque no hay un acuerdo entre investigadores sobre la naturaleza de la transferencia y cómo se produce (Lobato, 2006), parece existir un consenso generalizado entre ellos en señalar al establecimiento de analogías como el recurso más utilizado en el aprendizaje cuando se emplean los mecanismos de transferencia del conocimiento (Duit, 1991; Van Lehn, 1990; Gentner et al., 1997). También los profesores de secundaria de ciencias en formación consideran a la analogía como el recurso más empleado, más útil y más fácil de aplicar en la resolución de problemas (Solaz-Portolés et al., 2010). En efecto, una vez establecidos los vínculos analógicos entre dos situaciones, el conocimiento que se posee sobre una de las situaciones permite realizar inferencias sobre la otra. Si no fuera por el reconocimiento de una analogía entre situaciones previamente experimentadas y una nueva situación, este conocimiento almacenado en la memoria sería difícil de utilizar ya que la probabilidad de vivir dos veces exactamente la misma experiencia vital es muy baja (Gentner, Holyoak y Kokinov, 2001).

De entre todas las tareas académicas empleadas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, resolver problemas es una de las más importantes puesto que implica una gran creatividad y exige aplicación de conocimientos (y no meramente su reproducción). Despierta tal interés en la enseñanza que incluso existe una metodología instruccional que centra sus objetivos en los problemas y su resolución: el aprendizaje basado en problemas (ABP), -o problem based learning (PBL) en su versión anglosajona (Solaz-Portolés, Sanjosé y Gómez, 2011). En el ámbito didáctico el procedimiento habitual para enseñar a resolver problemas y evaluar el aprendizaje se basa en la transferencia: se resuelve un conjunto de problemas y se pide seguidamente a los estudiantes que resuelvan problemas similares. Para su resolución los estudiantes han de recuperar de su memoria ejemplos resueltos con anterioridad y usarlos para resolver el nuevo problema (Barnett y Ceci, 2002). Sternberg (1996) apunta hacia la extrapolación de conocimientos y habilidades de una situación a otra –esto es, la transferencia- como uno de los principales elementos que facilitan la tarea de resolver problemas.

Objetivos

Teniendo presentes los antecedentes expuestos que subrayan la importancia de la transferencia en el aprendizaje en general, y en la resolución de problemas en particular, los objetivos de este

trabajo van a fijarse en una revisión de información que nos permita:

1. Conocer la evolución histórica del concepto de transferencia en las teorías e investigaciones sobre el aprendizaje desde su introducción hasta nuestros días.
2. Clasificar los tipos posibles de transferencia y su importancia para el aprendizaje.
3. Subrayar el papel de la transferencia en la resolución de problemas
4. Acercarnos a la investigación sobre transferencia en didáctica de las ciencias.
5. Extraer las oportunas consecuencias que puedan derivarse para una enseñanza de las ciencias más eficaz.

Transferencia y aprendizaje: una revisión histórica en las teorías e investigaciones sobre el aprendizaje

En los primeros años del siglo XX, las ideas pioneras sobre la transferencia en el aprendizaje se recogían en la denominada “*doctrina de la disciplina formal*”, esta teoría expuso que ciertas materias llamadas disciplinas formales, tales como la geometría o las matemáticas podían usarse como herramientas para aprender a razonar y de esta forma generar destrezas cognitivas transferibles a diferentes ámbitos o dominios.

Thorndike cuestionó las bases de esta teoría y no encontró evidencias empíricas de la misma (Thorndike, 1924). Un estudio ulterior (Wesman, 1945), corro-

boró los resultados obtenidos por Thorndike. En una de las primeras investigaciones empíricas en la que se implicaba a la transferencia (Thorndike y Woodworth, 1901) se estudió el transfer en el cálculo del tamaño de figuras geométricas. Sus primeros resultados, mostraron que no se produce transferencia desde aprendizajes generales hacia tareas específicas. Otros trabajos posteriores mostraron de nuevo que puede aumentarse la transferencia en el aprendizaje mediante la instrucción en tareas específicas que incidan en aplicaciones, relaciones y metodología; lo que conlleva, además, a un aumento de la comprensión y del conocimiento utilizable (Klausmier, 1969). El mismo Thorndike (1932) formuló la “*ley de los elementos idénticos*” en la que plantea que la transferencia es el resultado de aplicar el conocimiento adquirido mediante un aprendizaje previo, a una nueva tarea que requiere exactamente la misma conducta que la que se aprendió. Para que haya transferencia debe haber una similitud de hechos, actitudes y habilidades específicas. Las consecuencias de estos estudios fueron notables, llegando incluso a modificar el currículo hacia contenidos más específicos (Carpintero 2002).

Según este principio, la transferencia está influenciada por: 1) la mayor o menor similitud entre dos situaciones (la de aprendizaje y la nueva o de aplicación); 2) la actitud del aprendiz para aplicar de un modo más o menos activo, y más o menos consciente lo aprendido a la nueva situación; 3) las disponibilidades de aprendizajes no solo conceptuales, sino también estratégicos que pue-

dan permitir reconocer los elementos idénticos entre dos situaciones, activar el conocimiento apropiado y aplicarlo a la situación nueva planteada.

Sin embargo, en un breve lapso de tiempo, Judd (1908) analizó la transferencia de un Principio general de una situación a otra. En concreto, investigó la influencia de la instrucción de la ley de Snell de la refracción de la luz sobre el acierto a un blanco situado bajo la superficie del agua. El grupo instruido superó al otro cuando el blanco cambiaba de profundidad. Un experimento posterior parecido produjo idénticos resultados (Hendrickson y Schroeder, 1941). Ambos experimentos pusieron en evidencia la posibilidad de la transferencia de un conocimiento general a una tarea más específica.

Bloom (2007) retomó más tarde el estudio de los factores que afectan la transferencia y postuló que posee tres dimensiones: 1) el contexto, 2) el nivel de cognición y 3) la *sustancia* de la transferencia.

Los niveles de la dimensión contextual son seis, estos van desde el contexto muy próximo hasta el contexto nuevo o desconocido: el primer nivel se relaciona con la transferencia no específica (se relaciona información en el mismo contexto) y el último con la transferencia creativa (se proponen nuevos conceptos en nuevos contextos).

Los niveles de cognición los clasifica, de menor a mayor, en: a) reacción valorativa, b) reconocimiento, c) comprensión (de palabras y significados), d) análisis (de relaciones y asunciones), e) abstracción, y f) transformación de ideas, puntos de vista y conceptualizaciones.

Finalmente, los niveles de *sustancia* de la transferencia, de menor a mayor, los ordena en: a) patrones, b) funciones, c) significados, d) interconexiones e interrelaciones, e) comprensión intuitiva (*insight*), y f) creatividad.

Haskell (2001) diferencia seis niveles de transferencia que pueden pro-

ducirse en el aprendizaje. La Tabla 1 recoge estos niveles. El primer nivel, la transferencia no específica, es el más sencillo y común en todos los aprendizajes. El último nivel, la transferencia creativa, es el más complejo, y difícilmente se consigue en los contextos académicos convencionales.

Tabla 1. Los seis niveles de transferencia de Haskell (2001, pp 29-30).

Intracontextual	Transferencia no específica	Lo que se aprende se conecta con el conocimiento previo (mecanismo interno).
	Transferencia de aplicación	Se aplica lo que se aprende en el mismo contexto
	Transferencia de contexto	Se aplica lo que se aprende en un contexto no muy diferente.
	Transferencia próxima	Se transfiere conocimiento previo a situaciones similares, pero no idénticas.
Intercontextual o transcontextual	Transferencia lejana	Se transfiere conocimiento previo a situaciones o contextos muy diferentes
	Transferencia creativa	La transferencia va más allá de la analogía simple y se crean (o utilizan) nuevos conceptos

En cuanto al contexto, el nivel de similitud que puede reconocerse entre dos situaciones determina que la transferencia sea más o menos probable. Gagné (1971) identificó dos tipos de transferencia: lateral y vertical. La ‘transferencia lateral’ se produce cuando el conocimiento adquirido previamente y la nueva tarea o problema son de la misma naturaleza y nivel de dificultad; por ejemplo, conocer las operaciones aritméticas elementales permite resolver una ecuación de primer grado con una incógnita. Por su parte,

la ‘transferencia vertical’ tiene lugar cuando el conocimiento previamente adquirido permite comprender una nueva tarea de naturaleza o nivel de complejidad distinto al del aprendizaje previo; por ejemplo, saber resolver ecuaciones de primer grado con una incógnita posibilita resolver sistemas de ecuaciones de primer grado con dos incógnitas.

Posteriormente, otros investigadores han renombrado estos dos tipos de transferencia del aprendizaje en ‘cercana’ (*near transfer*) y ‘lejana’ (*far*

transfer) (Klausmeir, 1985), similares a transferencia lateral y a la vertical, respectivamente. La transferencia lejana se realiza con menor frecuencia y con mayor dificultad que la cercana. Esto se debe, según Salomon y Perkins (1989), a que el estudiante debe efectuar un análisis y representación de la situación que le permita determinar qué reglas, principios y conceptos aprendidos tiene que aplicar.

Recientemente, esta diferenciación ha sido retomada por Rebello y colaboradores (2007) que diferencian entre transferencia 'horizontal' y 'vertical'. El modelo de transfer de los autores, muestra el proceso de transferencia mediante las asociaciones creadas por el estudiante a partir de una nueva situación problemática. Los autores se centran en dos tipos principales de asociaciones que los estudiantes pueden realizar a partir de un enunciado, en la resolución de un problema.

La primera clase de asociación implica relacionar la información descrita a través de las palabras en el enunciado de un problema fuente, con algún o algunos elementos del conocimiento previo del estudiante. Un claro ejemplo de este tipo de asociación lo encontramos cuando un estudiante lee las unidades de un valor numérico descrito en el enunciado de un problema. Si el problema relata que un móvil se mueve a 20 metros/segundo, es muy probable que el estudiante reconozca que este valor corresponde a la velocidad del coche, incluso que sea capaz de relacionar el dato con las ecuaciones correspondientes a la velocidad, las cuales forman parte de su conocimiento previo

y que a su vez, pasarán a formar parte del esquema de resolución que el sujeto generará para enfrentarse al problema en cuestión.

La segunda clase de asociaciones se da cuando un estudiante es capaz de encontrar en su memoria a largo plazo algún tipo de conocimiento aplicable a la resolución del problema, sin que ningún elemento del enunciado "descubra" toda la información necesaria. Este tipo de asociación es más abstracta y compleja, por ejemplo, un estudiante al que se le muestra una animación de un coche en movimiento, sin darle ningún tipo de información sobre la velocidad de este, ni especificar que esta sea relevante en la tarea, puede pensar que la velocidad es importante para resolver el problema. En este caso el estudiante hace una asociación implícita entre dos ideas, movimiento (mostrado en el problema)-velocidad (conocimiento muy relacionado con la información mostrada e inferido a partir de esta relación).

Esta idea del tipo de asociación define dos tipos de transferencia. El *Transfer Horizontal*, que es el que se da cuando un estudiante extrae explícitamente la información del enunciado de un problema y ésta activa directamente algún esquema de problema *completo* (que alberga todas las herramientas necesarias para la resolución del problema) contenido en la memoria del sujeto. Y, el *Transfer vertical*, que se produce cuando el estudiante reconoce características de la situación que intuitivamente activan elementos de su conocimiento previo, pero al contrario que en el transfer horizontal, en este tipo de transfer, el sujeto no posee a

priori un esquema de problema “completo” para asociar al problema a resolver. El sujeto construye entonces, un modelo mental “in situ” de la situación, a través de sucesivas construcciones y deconstrucciones de asociaciones entre la información del enunciado y su conocimiento disponible.

El aprendizaje previo puede dejar una cierta impronta (*priming*) que induzca a los aprendices a creer que cualquier situación que siga a aquella en que se ha producido el aprendizaje va a ser análoga a la anterior. En estos casos el aprendizaje en la situación primera interfiere en las acciones que se deberían ejecutar en la situación segunda como consecuencia de una identificación incorrecta de características comunes en dos situaciones diferentes. Esto se conoce como ‘transferencia negativa’ (Chaplin y Kramiec, 1984; Novick, 1988) que se opone a la ‘transferencia positiva’. La transferencia negativa se asocia con falta de percepción consciente de las analogías entre las dos situaciones comparadas (la del aprendizaje primero y la nueva situación).

En la década de los ochenta, Perkins y Salomon (1988) desarrollaron una fructífera teoría sobre la transferencia del aprendizaje. En ella, se habla de transferencia de ‘escaso recorrido’ (*low-road transfer*) y de ‘largo recorrido’ (*high-road transfer*). La transferencia de escaso recorrido no implica un esfuerzo consciente para abstraer elementos de una situación y aplicarlos a otra situación que se debe reconocer como similar. En consecuencia, esta transferencia se circunscribe al desarrollo de un conocimiento o destreza con un

alto nivel de automaticidad y poco pensamiento reflexivo. Normalmente esta transferencia requiere mucha práctica en variadas condiciones y suele ser de gran utilidad. Conducir un coche o realizar cálculos aritméticos son ejemplos en los que se puede conseguir un elevado grado de automaticidad. En el contexto educativo se aprenden conocimientos y destrezas que pueden ser transferidas a la vida diaria mediante este mecanismo *low-road*. Sin embargo, la transferencia de largo recorrido requiere intentos conscientes de reconocer características similares en situaciones que son muy diferentes. Si al aprendiz se le ha enseñado a mirar más allá de las características superficiales y a reconocer las “reglas abstractas” que pueden aplicarse en situaciones variadas, la transferencia de largo recorrido tiene una mayor probabilidad de producirse. Como puede observarse, esta transferencia de largo recorrido depende de la “abstracción consciente y deliberada de destrezas y/o conocimientos en un contexto para aplicarlas en otro” (Perkins y Salomon, 1988, p.25). Muchas de las tareas que se proponen en el aula requieren este tipo de transferencia, que comporta el desarrollo de habilidades complejas y de comprensión conceptual.

Para que haya transferencia de conocimiento, son necesarias ciertas habilidades para reconocer la similitud entre dos situaciones, activar el conocimiento necesario y aplicarlo correctamente. Es un hecho bien conocido en los estudios sobre la transferencia que los estudiantes son incapaces, en muchas ocasiones, de aplicar los aprendizajes en las aulas

al mundo real o, incluso, a situaciones didácticas nuevas. Así, Brandsford y colaboradores (1986, p.1080) señalan que *El hecho de que la gente disponga de conocimiento relevante para una situación particular no garantiza que puedan acceder a él*. A este problema se le ha dado el nombre de ‘problema del conocimiento inerte’ (Bereiter y Scardamalia, 1985).

Gick y Holyoak (1983) apuntan a que los estudiantes pueden fallar al reconocer en su memoria problemas análogos útiles para enfrentarse a un nuevo problema. Los procesos implicados en el mecanismo de recuperación de esquemas de problema (análogos) potencialmente relevantes para la transferencia son los peor comprendidos (Holyoak y Koh, 1987). Ross (1987,1989), indagó en estos procesos y mostró que si los estudiantes consiguen recordar el ejemplo adecuado mejora la resolución en problemas propuestos. El proceso cognitivo mediante el que se codifica la información de un problema, está caracterizado por “cómo se selecciona la información desde el texto y se añade esta información a la memoria de trabajo”(Mayer, 1984) y por “cómo se separa la información relevante de la irrelevante”(Stenberg, 1985). Es en este proceso donde los estudiantes encuentran una de las principales barreras para transferir conocimiento y encuentran muchas dificultades para acceder a la información realmente importante. Una vez recuperado el problema análogo de la memoria, la principal dificultad supone construir conexiones apropiadas entre el análogo y el problema

propuesto (Anolli, Antonietti, Crisafulli y Cantoia, 2001)

Uno de los parámetros que dificulta la activación y aplicación del conocimiento adquirido a una nueva situación, es el lapso de tiempo transcurrido. Chem y Klahr (2008) destacan que, en la mayoría de investigaciones sobre la transferencia de aprendizajes, el tiempo transcurrido entre la generación de aprendizaje y transferencia del mismo en una nueva tarea suele ser corto. Los autores introducen el término transferencia remota (*remote transfer*) como la aplicación de conceptos y estrategias en diferentes contextos tras un período de tiempo largo. Para ellos, la transferencia remota es un verdadero indicador de aprendizaje, ya que refleja la profundidad de la comprensión, la amplitud de la generalización de conceptos y estrategias aprendidas a diferentes situaciones, y la flexibilidad para pensar y razonar. El proceso de transferencia remota implica codificar la información de una situación original de aprendizaje, recuperar dicha información ante una nueva tarea, y establecer correspondencias entre la situación de aprendizaje original y la nueva tarea.

Brandsford y colaboradores (2000) recopilaron todos los aspectos clave que influyen en la transferencia:

- El principal factor en la transferencia es el grado de pericia que se tiene sobre el dominio que se trate. Sin un adecuado nivel de conocimientos no puede esperarse transferencia alguna.
- La transferencia se ve afectada por el contexto en que se produjo el aprendizaje inicial. La trans-

- ferencia se dificulta si los sujetos han aprendido en un solo contexto, y se favorece cuando se aprende en múltiples contextos (Bassok y Holyoak, 1989).
- La transferencia se mejora mediante una instrucción que ayuda a los estudiantes a representar de manera abstracta las situaciones problemáticas. Para ello, se deben proporcionar muchas oportunidades de observar similitudes y diferencias en situaciones diversas. El conocimiento esquemático (Solaz-Portolés y Sanjosé, 2008a) es particularmente importante en la transferencia, ya que guía el razonamiento analógico.
 - La transferencia es un proceso dinámico que demanda del aprendiz escoger y evaluar estrategias, tomar en consideración recursos, y recibir retroalimentación. Por esta razón, se mejorará la transferencia si ayudamos a nuestros estudiantes a controlar sus estrategias de aprendizaje y sus recursos, y a valorar la disponibilidad de sus conocimientos. En definitiva, la transferencia aumentará si aumentan los conocimientos y las estrategias metacognitivas de los estudiantes. En el trabajo de Solaz-Portolés, Sanjosé y Gómez (2011) se recogen algunas posibles medidas instruccionales que pueden ser útiles para desarrollar conocimientos y estrategias metacognitivas.
 - Todo nuevo aprendizaje necesita transferencia, que se basa en aprendizajes previos. Así pues, el diseño instruccional debe hacerse

partiendo de esta premisa: hemos de ayudar a los estudiantes a aprender.

- Se debe promover en la enseñanza la conexión de los aprendizajes en el centro educativo con los conocimientos de la vida diaria que tienen los estudiantes. Naturalmente, ello puede requerir en ocasiones poner en cuestión ideas o esquemas conceptuales incompatibles con el conocimiento científico. Como es obvio, es muy importante que los estudiantes pongan a prueba sus ideas de manera rigurosa en experiencias diseñadas a estos efectos.

Transferencia y resolución de problemas

Uno de los objetivos curriculares de nuestro sistema educativo es enseñar cómo resolver problemas. Un ‘problema’ es una situación nueva en la vida diaria, laboral, académica o personal, que presenta una demanda (por ejemplo, una serie de acciones) que, *a priori*, no se sabe satisfacer. El proceso que permite activar y aplicar el conocimiento necesario para satisfacer la demanda se conoce como “resolución del problema”. Dado que exigen aplicación del conocimiento de un modo práctico, la resolución de problemas es una de las actividades de aprendizaje y de evaluación del mismo, más empleadas en la educación, en especial, en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas.

Es usual en nuestras aulas esperar que los estudiantes tengan éxito en la transferencia en la resolución de proble-

mas a partir de problemas-modelo que, bien aparecen en los libros de texto, bien son resueltos y explicados por el profesor. Sin embargo, como veremos a continuación, las investigaciones muestran que la transferencia en resolución de problemas tiene muchas dificultades.

Resulta obvio que el interés del profesorado se debe centrar en procurar que los aprendizajes en el aula se puedan aplicar en la resolución de problemas. De acuerdo con Niedelman (1991) esto se puede lograr tomando como base la comprensión relacional de los contenidos, esto es, que el alumno sepa lo que hace y por qué lo hace. Solaz-Portolés y Sanjosé (2008b) han ofrecido algunos procedimientos para lograr la comprensión relacional. 1) Proponen esforzarse en mejorar la comprensión conceptual, 2) estimular los procesos de estudio del texto en profundidad mediante explicaciones, relaciones y confrontación de los contenidos, 3) potenciar la metacognición, 4) utilizar metodologías que permitan hacer los conceptos abstractos más accesibles a los estudiantes, 5) trabajar en grupo para fomentar las funciones socio-cognitivas, 6) resolver problemas abiertos (sin datos numéricos, sin metodología prefijada), 7) promover la comprensión cualitativa de los problemas, antes que ofrecer procedimientos numéricos de resolución. Mediante estos y otros procedimientos, los autores ponen de manifiesto el papel que desempeña una buena base de conocimientos relacionada con la ejecución de ciertos procesos cognitivos.

Según Picus (1983), son necesarios dos tipos de contenidos para que se produzca la transferencia en resolución

de problemas: el primero está relacionado con un dominio de conocimientos específicos, el segundo está referido al desarrollo de habilidades cognitivas. El contenido relacionado con un conocimiento específico incluye reglas, principios, hechos y conceptos sobre un tema concreto, así como “planes” sobre los mismos, que requieren el uso de uno o más elementos para aplicar en la resolución del problema. El desarrollo de habilidades cognitivas está basado en la utilización de destrezas de alto nivel: comparación, categorización, análisis, síntesis, inferencia, razonamiento abstracto, etc.

Cuando los estudiantes utilizan conocimientos y estrategias que han desarrollado en la resolución de problemas para resolver otro problema que representa una situación similar se dice que se ha producido el fenómeno de *transferencia analógica* (Van Lehn, 1990). Es decir, una transferencia lateral, horizontal, de aplicación o de contexto, según las diferentes clasificaciones mostradas en el epígrafe anterior. Algunos investigadores arguyen que la transferencia analógica es la principal metodología que utilizan los humanos cuando se enfrentan ante un problema real sea cual sea el dominio al que éste pertenezca, académico o no académico (Polya, 1957; Rumelhart, 1989).

En la resolución de problemas mediante transferencia analógica, el sujeto recupera de su memoria ejemplos resueltos antes y los usa para resolver el nuevo problema (Goldstone y Sakamoto, 2003; Barnett y Ceci, 2002). El aprendizaje inicial de ejemplos relevantes y su comparación es la estrategia de

referencia para favorecer la abstracción de ‘esquemas de problema’ (Loewenstein, Thompson and Gentner, 1999; Gick and Holyoak, 1983). En este proceso los problemas comparados deben poseer elementos comunes relevantes. Por tanto, el establecimiento de analogías entre el problemas es esencial para la construcción de tales esquemas (Gentner, 1983). Cuando el estudiante se enfrenta a un nuevo problema, alguna de sus características deberá activar uno de los ‘esquemas de problema’ que este sujeto tiene almacenados en la memoria, o al menos deberá activar un problema ejemplo (llamado ‘problema fuente’) ya conocido. Una vez activados, el estudiante debe construir una relación analógica (*mapping*) entre estos problemas análogos y el problema nuevo propuesto que le permita utilizar conscientemente el proceso de resolución de aquellos, y aplicarlo con éxito a este último.

Es decir, usualmente se diferencian al menos dos fases: 1) activación de análogos almacenados en la memoria; 2) *mapping* entre el análogo y el problema propuesto (llamado ‘problema diana’). Salomon y Perkins (1987) apuntan que en la resolución de verdaderos problemas (es decir, no algorítmicos) el estudiante debe ser capaz de, en primer lugar, descontextualizar el problema y abstraer su “esquema” a partir de las situaciones problemáticas en las que ha sido instruido. En segundo lugar, el estudiante ha de reconocer las identidades (similitudes) relevantes entre la situación instruccional y la situación en la que se ha de llevar a cabo la transferencia.

Hummel y Holyoak (1997) coinciden en que los primeros pasos de la transferencia analógica son el ‘acceso’ y el *mapping*. Mediante el acceso se recupera un problema análogo fuente (o esquema de problema o regla) de la memoria a partir de la información propuesta en el problema a resolver (problema diana). Mediante el *mapping* o establecimiento de correspondencias se ponen al descubierto los elementos del problema diana que se corresponden con el problema fuente. Posteriormente ambos, ‘acceso’ y *mapping*, pueden ser utilizados para generar inferencias; esto es, para inducir un esquema más general que capture las propiedades esenciales que tienen en común fuente y diana, y proceder a la resolución del último.

Para Keane (1997) los procesos que se deben llevar a cabo en la transferencia analógica son: representación del problema (problema diana), recuperación de esquemas de problema (problema fuente), establecimiento de correspondencias entre ambos problemas (*mapping*), adaptación e inducción de la resolución.

Finalmente, Chan y Klahr (2008) distinguen cuatro pasos: a) Codificación de las características del análogo fuente; b) Acceso a la información del análogo fuente; c) *Mapping* de carácter estructural entre el problema diana y análogo fuente; y d) Ejecución de estrategias para llegar a la solución del problema diana.

Desde una perspectiva empírica VanLehn (1998) encontró, tomando como base el análisis de protocolos de resolución de problemas de estudiantes, que la transferencia analógica se

podía explicar en dos fases. En la primera fase, que denomina fase de iniciación, el solucionador del problema recupera de la memoria el ejemplar (el análogo, el problema fuente), efectúa el *mapping*, y decide si el análogo es útil para resolver el problema. En la segunda fase, o fase de transferencia propiamente dicha, tomando como referencia el análogo se procede a realizar inferencias que le permiten resolver el problema 'diana' o propuesto.

En resumen, el establecimiento de analogías entre problemas es esencial, tanto para la abstracción de esquemas de problema, para la activación de los mismos ante un nuevo problema diana, y también para la aplicación del conocimiento que se posee sobre el análogo en el problema diana a partir del *mapping*. La teoría de Gentner (1983) sobre el modo en que se construyen analogías en ciencias postula que entre el dominio fuente, base de conocimientos precedente, y el dominio diana deben evidenciarse semejanzas en las relaciones que existen entre los objetos y sus atributos, pero no semejanzas en los propios objetos y atributos. Gentner (1983) define tres tipos de '*mapping*' entre situaciones: 1) *Literal similarity*: Dentro del conjunto de proposiciones interconectadas que representa el contenido semántico del problema fuente se pueden dar numerosas relaciones entre los atributos, objetos y hechos pertenecientes al análogo-base y los del problema diana. 2) *Analogy*, se refiere a la comparación entre predicados, la relación de los hechos descritos, de esta forma no se pueden establecer relaciones solo mediante objetos o atributos. *Abstrac-*

tion, comparación entre distintos dominios a partir de las relaciones que se dan entre las estructuras abstractas internas, los objetos y los hechos dejan de ser concretos para relacionar así dos situaciones distintas (p.160).

El establecimiento de analogías entre problemas depende, lógicamente, de sus características respectivas. Holyoak (1984) distinguió dos tipos de características en todos los problemas: las estructurales y las superficiales o de contexto. La superficie describe la situación problemática en términos de objetos y hechos concretos del mundo real. La estructura hace referencia a las relaciones existentes entre los conceptos implicados en dicha situación (Novick, 1988). Las analogías en ciencias exigen una extrapolación estructural mucho más compleja que la mera asociación entre pares de elementos entre dominios y debe darse en diferentes niveles jerárquicos (Reed, 1987). En este punto, puede ser particularmente relevante citar el trabajo de Chi, Feltoovich y Glaser (1981), en él se concluyó que los expertos basaban las similitudes entre problemas de física en elementos estructurales (por ejemplo, los principios de Newton), en tanto que los novatos la hacían basándose en elementos superficiales de los problemas (planos inclinados, poleas, etc). De acuerdo con este modelo en la transferencia siempre se lleva a cabo un *mapping* estructural, en el que se establecen relaciones entre el análogo-base (problema fuente) recuperado de la memoria y el problema diana que permiten llegar a solucionar este último. Como puede verse, este modelo hace particular énfasis en

la estructura como elemento vertebrador en los procesos de resolución de problemas por transferencia analógica

Para Reeves y Weisberg (1994) el contenido de un problema está constituido por la conjunción del dominio semántico y de los elementos superficiales. La estructura de un problema puede ser caracterizada como una organización jerárquica que va desde sus detalles concretos hasta la descripción abstracta del enunciado. Para estos autores, la similitud entre problemas puede darse a nivel estructural o superficial, aunque los problemas análogos son aquellos que comparten la misma estructura, pero no necesariamente el mismo contenido específico. Además, subrayan que si los problemas presentan similitudes superficiales (como ocurre, por ejemplo, cuando se está desarrollando una unidad didáctica del currículum de una asignatura), sus diferencias estructurales pueden quedar *apantalladas*. Este efecto de apantallamiento ha sido encontrado en un trabajo empírico reciente (Gomez, Solaz y Sanjosé, 2012 a).

Parte de los rasgos superficiales de los problemas con enunciado la constituyen las variables léxicas y sintácticas. El modo en que se redacta un enunciado puede hacer que dos situaciones similares se perciban diferentes dificultando la transferencia o que dos situaciones estructuralmente idénticas se perciban diferentes (Puig y Cerdán, 1988; Cerdán, 2008; Orrantia et al., 2005; Valentín y Chap-Sam, 2005; Christou y Philippou, 1998; Neshet y HersHKovitz, 1994; Carpenter, Hiebert y Moser, 1981). La mayor o menor familiaridad

que el resolutor tenga con los objetos y eventos mencionados en los enunciados también influirá en su capacidad para reconocer analogías (Gómez, Solaz y Sanjosé, 2012 b).

Chen y Klahr (2008) hablan también de similitud de contexto. Entienden por contexto los aspectos físicos y/o sociales implicados en los problemas. Para ellos el contexto físico está relacionado con el lugar físico donde se sitúan los problemas, y el contexto social se refiere a los sujetos y actividades imbricadas en los problemas. El trabajo de Spencer y Weisberg (1986) halló que los estudiantes universitarios mostraban dificultades cuando se les variaba el contexto físico (laboratorio o aula) donde se debía efectuar la transferencia de conocimientos de un problema fuente explicado previamente.

Holland y colaboradores (1986) defienden que en los procesos de recuperación de análogos (o esquemas de problema) están fundamentalmente guiados por elementos estructurales. Por el contrario, Keane (1988) sostiene que en la recuperación de análogos participan tanto elementos estructurales como superficiales. La investigación de Spencer y Weisberg (1986) revela que el contexto (o características superficiales del problema) puede facilitar la recuperación de esquemas de problema y, consiguientemente, favorecer la transferencia; y que la posesión de esquemas de problema es condición necesaria pero no suficiente para que se produzca la transferencia. En este sentido, De la Fuente y colaboradores (1989) han encontrado que no hay diferencias en la recuperación de análogos entre

problemas que comparten sólo similitud estructural, y entre aquellos otros que comportan similitud estructural y superficial. Además, estos autores han observado un efecto de transferencia negativa generado por las similitudes superficiales

A pesar de que se asume que la transferencia analógica es muy frecuente en el razonamiento de los humanos (Gentner y Holyoak, 1997), lo cierto es que, cuando se ha intentado reproducir el fenómeno experimentalmente, los resultados han sido desalentadores (Gick y Holyoak, 1980 y 1983, Reed, Dempster y Ettinger, 1985). Estas dificultades en la transferencia analógica aparecen incluso cuando el contexto (o superficie) del problema es familiar para los estudiantes, hecho que facilita el establecimiento de correspondencias entre elementos comunes (Price y Driscoll, 1997). A pesar de esto, Reed y Bolstad (1991) han mostrado que el conocimiento o desconocimiento del dominio semántico de los problemas tiene una significativa influencia en todas las fases de la transferencia analógica. Butterfield y Nelson (1991) hallaron que representa una ardua tarea para los aprendices encontrar similitudes entre problemas. En su trabajo analizaron la influencia de la instrucción previa en similitudes sobre la transferencia y no encontraron diferencias significativas entre el grupo que recibía instrucción y el que no la recibía.

Aunque se ha sugerido que la disponibilidad del problema fuente resuelto cuando se resuelve el problema diana es esencial para la transferencia analógica (Reed et al., 1985; Spencer y

Weisberg, 1986), Pulido, de la Garma y Pérez (2010) han comprobado, con un problema de secuencia de letras, que los estudiantes que dispusieron del problema fuente resuelto delante no resolvieron significativamente mejor el problema diana que aquellos que no lo tuvieron. Además, constataron que las estrategias de resolución del problema diana se basaron mayoritariamente en las similitudes superficiales con el problema fuente. Esto último, ya fue constatado en un estudio previo (Pulido, Olmos y Lanzagorta, 2005).

En relación específicamente a la transferencia de destrezas de alto nivel cognitivo en resolución de problemas, no existen evidencias claras de que la formación en estas destrezas suponga una mejora en la transferencia de éstas a otros dominios de conocimiento. Así, las evaluaciones efectuadas de cursos de formación en estas destrezas muestran un incremento del desempeño en problemas de los mismos dominios a los planteados en los cursos, pero no en aquellos problemas que pertenecen a dominios diferentes (Niedelman, 1991). En estos cursos se suelen proponer actividades, dentro de un área concreta de conocimiento, en la que se promueve el razonamiento silogístico, la indagación, la búsqueda de patrones, la selección de la información, la formulación de hipótesis y otras estrategias propias de la metodología científica.

Varias son las explicaciones de la ineficacia de estos cursos de formación en destrezas de alto nivel cognitivo. Una de las explicaciones subraya el hecho de que estos cursos se centran en el desarrollo de habilidades cognitivas, pero

soslayan la importancia de los conocimientos específicos en un dominio (Resnick, 1987). Según Brandsford y colaboradores (1986), las competencias en un dominio y la habilidad para razonar en ese dominio parecen desarrollarse conjuntamente. Esto es, los estudiantes no pueden razonar con facilidad sobre temas o cuestiones que no les son familiares. Otra explicación apunta hacia la necesidad de descontextualización, y la capacidad para reconocer similitudes entre las situaciones de aprendizaje y de transferencia. Y estos procesos raramente son fomentados en el contexto escolar, ya que no se llevan a cabo conexiones entre diferentes materias, ni se extraen generalizaciones de una disciplina que puedan aplicarse a otras (Salomon y Perkins, 1989).

Transferencia y enseñanza de las ciencias

Comenzaremos esta sección por un trabajo relativamente reciente y que nos pone en alerta en relación a la transferencia y la enseñanza de las ciencias. En dicho trabajo se pone de manifiesto, mediante la aplicación de la metodología 'estudio de caso' a sesenta estudiantes de secundaria en trece unidades didácticas, la escasa transferencia a otros ámbitos de conocimientos y habilidades científicas que supuestamente se han aprendido en el aula (Keiler, 2007).

Por otra parte, en un estudio que recoge la opinión de expertos (Schönborn y Bögeholz, 2009), se destaca la relevancia de los procesos de transfe-

rencia en el aprendizaje de las ciencias (en concreto de la Biología) como demostración de que realmente se ha producido comprensión. Esto es, para los expertos sólo hay comprensión cuando los estudiantes son capaces de aplicar conocimientos y habilidades adquiridas a nuevas tareas. Estos autores acaban concluyendo que la enseñanza para la comprensión de las ciencias debe estar basada en actividades de aprendizaje que promuevan tanto la transferencia horizontal como vertical. Resulta conveniente destacar aquí las investigaciones que han defendido el uso de analogías para desarrollar el razonamiento para la transferencia y la comprensión de conceptos científicos (Heywood y Parker, 1997).

A continuación daremos a conocer los estudios que han incidido en metodologías, estrategias o recursos instruccionales que favorecen la transferencia de conocimientos y destrezas en la enseñanza de las ciencias. Keselman (2003) ha constatado que los estudiantes que se les enseña de forma explícita a formular hipótesis fundamentadas, tomando como bases todas las posibles variables intervinientes en la situación problemática, efectuaron significativamente mejor que otros tareas que implicaban transferencia. McIntosh (1986) comprobó el efecto de actividades que requieren la elaboración de representaciones mentales sobre el recuerdo y la transferencia: obtuvo mejoras ostensibles tanto en el recuerdo como en la transferencia de aprendizajes. Schwartz (1993) estudió en adolescentes la construcción de representaciones abstractas a partir de información

escrita de estructura compleja, y observó que un buen número de ellos podía llevar a cabo transferencia analógica de estas representaciones; además, verificó que la instrucción específica en la representación abstracta permite a los estudiantes desarrollar estrategias que facilitan la transferencia.

Gilbert, Bulte y Pilot (2011) proponen varios criterios para diseñar currículos “basados en el contexto de aprendizaje” (*context-based courses*) y toman como *leitmotiv* la transferencia de los aprendizajes; señalan que las “estructuras mentales” que elaboran los estudiantes en un determinado contexto de aprendizaje les son muy útiles para comprender y abordar nuevos contextos.

Williams y colaboradores (2004) proponen, aunque no pueden ofrecer evidencia empírica fiable todavía, una metodología de enseñanza de las ciencias que, en lugar de centrarse en contenidos específicos, o en conseguir que los alumnos utilicen pautas de razonamiento científico en un contexto particular de un dominio científico, intenta conseguir que los aprendices empleen dichas pautas en contextos que resulten de interés para ellos. Esperan conseguir dos objetivos, por una parte, mejorar en el uso de estrategias propias de la metodología científica y, por otra, que los estudiantes realicen la transferencia de conocimientos y destrezas aprendidas a situaciones de la vida cotidiana. En la misma línea, Fortus y colaboradores (2005), utilizan un programa de aprendizaje de la ciencia basado en la indagación que tiene como objetivos el diseño y la construcción de artefactos útiles. Dicho programa se

llama *Design-based science*. La puesta a prueba de esta metodología resultó muy satisfactoria en la transferencia de conocimiento y habilidades en la resolución de problemas a otros contextos del mundo real: los estudiantes mejoraron significativamente en tareas de transferencia.

Hsu y Thomas (2002) estudian los efectos de la instrucción basada en simulaciones “*web-aided*” sobre el cambio conceptual, la resolución de problemas y la transferencia. Concluyen que las simulaciones, la utilización de representaciones múltiples y la posibilidad de revisar y/o corregir acciones ejecutadas mejora los resultados en la enseñanza de las ciencias. En concreto, las simulaciones estimularon la transferencia de conocimientos ante nuevas situaciones. Un trabajo publicado con anterioridad por Oliver y Okey (1986) también ponía de relieve el papel de las simulaciones con ordenador como promotoras de la transferencia. Otro trabajo publicado con posterioridad por Day y Goldstone (2011) constatan asimismo, en varios experimentos, que los estudiantes pueden transferir con cierta facilidad las estrategias y conocimientos aprendidos en simulaciones con sistemas físicos a otras tareas muy diferentes en contenido y apariencia. En concreto, los estudiantes interactúan, en el ordenador, con una bola que, suspendida entre dos bandas elásticas, efectúa un movimiento oscilatorio. La tarea que tienen que efectuar seguidamente tiene relación con la regulación de población de una ciudad. Los autores reconocen que el factor más importante para llevar a cabo la transferencia es

que los estudiantes elaboren una representación mental adecuada del sistema físico que les permita ver la similitud entre las estructuras de ambas situaciones problemáticas. En este caso, ambas situaciones están gobernadas por las mismas ecuaciones matemáticas.

Para finalizar este apartado comentaremos aquellos estudios que han abordado la transferencia específicamente en resolución de problemas de ciencias. En primer lugar, mencionaremos dos trabajos en los que se consigue mejorar el rendimiento en resolución de problemas por transferencia.

Así, Warnakulasooriya y Pritchard (2005) muestran que la transferencia entre problemas de Física mejora significativamente cuando los problemas vienen acompañados de ayudas, consejos, textos descriptivos y retroalimentación. Sampson y Clark (2009) en un estudio en el que se analiza el impacto del modelo de aprendizaje colaborativo en el aula sobre la resolución de problemas por transferencia, obtienen que los estudiantes que trabajan en la resolución de problemas en grupo y colaborando entre sí tienen un mejor desempeño en la resolución de problemas que los que no lo hacen.

Por su parte, en la investigación de Lin y Lehman (1999), se valora la habilidad para resolver problemas de contexto similar (transferencia próxima o *near transfer*) y contexto diferente (transferencia lejana o *far transfer*), en estudiantes que fueron distribuidos en cuatro grupos que siguieron distintos modelos instruccionales. Los resultados revelan que sólo el grupo de estudiantes que siguió un aprendizaje focalizado en

la comprensión de los contenidos, en el diseño de experiencias y en estrategias de actuación en las que se justifica el cómo, el cuándo y el porqué, consiguió puntuaciones significativamente mejores en la resolución de problemas de contexto diferente (transferencia lejana).

Chen (1995), diseñó un experimento con estudiantes de educación secundaria, en el que demostró que aportando imágenes explicativas de la solución de un problema fuente se mejoraba el transfer hacia problemas diana. Pasado un tiempo, Chen y Marvin (2000) realizan diversos estudios con el fin de probar que el refuerzo en el reconocimiento de estructuras abstractas mejora el transfer en resolución de problemas. Los dos primeros experimentos, indagaron en los efectos del llamado “refuerzo externo”, esto es, mostrar en un ejemplo detallado la información abstracta del problema fuente. Los resultados muestran que proveer a los estudiantes de ejemplos con esta información mejora el transfer a partir de soluciones análogas. Los siguientes experimentos analizaron los efectos del “refuerzo interno”, motivaron a los estudiantes a generar sus propios modelos, ejemplos o esquemas de la información abstracta del problema fuente, los resultados fueron alentadores, mostrando una notable mejora en el transfer en resolución de problemas. Las evidencias encontradas apuntaron a que los refuerzos tanto el externo, como el interno, para recuperar y generar información abstracta a partir de análogos, facilitan el proceso de transferencia.

Bernardo (2001), mediante estrategias de aprendizaje que consisten fun-

damentalmente en permitir a los estudiantes construir sus propios problemas análogos, pudo mejorar de manera notable la resolución de problemas que requerían la transferencia analógica de información entre un problema fuente y un problema diana.

Dos trabajos se han ocupado de estudiar si las dificultades en la resolución de problemas, en los que transferencia lleva implícita ecuaciones matemáticas, tienen su origen en la falta de pericia en los fundamentos o procedimientos matemáticos. Sanjosé y colaboradores (2007), en un experimento con problemas cuya resolución demandaba plantear y resolver un sistema de ecuaciones lineales con dos incógnitas, acaban concluyendo que la causa principal de las dificultades no está en la falta de dominio matemático sino en el proceso de traducción del lenguaje natural al lenguaje del álgebra; esto es, en la construcción de un modelo de la situación (representación mental construida a partir de la información semántica y del conocimiento previo del sujeto) y/o de un modelo de problema (representación mental elaborada a partir del modelo de la situación y que contiene conceptos, leyes y ecuaciones matemáticas) adecuados. Por el contrario, Potgieter y colaboradores (2008), ponen de manifiesto en un estudio donde se investigan las dificultades de estudiantes de Química en problemas en los que se ha de aplicar la ecuación de Nernst (problemas de electroquímica), que el origen de tales dificultades se halla en déficits de conocimiento matemático y no en los procesos de transferencia del dominio matemático al dominio químico.

En relación con la resolución de problemas y la transferencia analógica, el trabajo de Solomon (1994) parte del hecho de que la mayoría de las investigaciones efectuadas sobre ambas variables siempre se hacen en un “medio extraño” para los estudiantes y que los resultados corroboran la escasa transferencia analógica en problemas de diferente estructura. Por ello, la autora lleva a cabo sus experimentos como si se trataran de una actividad más en el aula de ciencias y en sus resultados se observa que un porcentaje destacado de estudiantes de *High School* consigue aplicar los elementos estructurales del análogo (o problema fuente) para resolver otros problemas que incluso tienen distinta superficie o contexto al del análogo. Destaca, además, que esto último sólo se produce si el formato de presentación del análogo es el mismo que el del problema diana.

Por su parte, Ngu y Yeung (2012) estudian el efecto que genera en la resolución de problemas de Química, con una estructura algebraica subyacente, la incorporación al enunciado del problema fuente, del problema diana o en ambos, de ecuaciones, símbolos, categorización y consejos. Acaban concluyendo que sólo cuando confluyen los cuatro elementos en alguno de los problemas fuente o diana, se facilita el *mapping* o establecimiento de correspondencias y, por tanto, la transferencia analógica.

Por último comentaremos las investigaciones centradas en la resolución de problemas de ciencias que requieren el planteamiento de sistemas de ecuaciones lineales, caso bastante habitual en la Física y Química de secundaria y

bachillerato. Sanjosé y colaboradores (2009) usan una metodología instruccional que enseña a “traducir” los problemas al lenguaje del álgebra (y, consecuentemente, ayuda en la elaboración de un adecuado modelo del problema a partir del enunciado del problema), con independencia de las superficies asociadas a su ámbito temático. Comprueban que dicha metodología, aplicada en estudiantes de secundaria, mejora la transferencia inter-dominios y, por tanto, ayuda a resolver gran parte de los obstáculos de los estudiantes en la resolución de problemas. En otro estudio (Gómez, Solaz-Portolés y Sanjosé, 2012a), también con estudiantes de secundaria, se constata que:

1. El análogo (o problema fuente) más adecuado para facilitar la transferencia es aquel que presenta una estructura similar al problema que se intenta resolver (o problema diana).
2. Cuando el problema fuente y el problema diana tienen la misma superficie se produce un *apantallamiento* de las diferencias estructurales, perturbándose con ello el proceso de transferencia.
3. El problema fuente ayuda menos en la transferencia si el contexto del enunciado del problema resulta poco familiar para los estudiantes.

Estos mismos autores en una investigación posterior (Gómez, Solaz-Portolés, Sanjosé, 2012b) vuelven a obtener los mismos resultados referidos anteriormente y, además, sacan a la luz las diferencias en la transferencia entre estudiantes instruidos recientemente (menos de quince días) en resolución de

problemas que demandan la aplicación de sistemas de ecuaciones lineales y estudiantes que recibieron dicha instrucción bastante antes: los primeros tienden a efectuar, más que los segundos, una transferencia errónea del problema fuente a problemas diana de diferente estructura al del fuente. Esto es, la instrucción recibida por los estudiantes parece inducir a creer que todos los problemas diana son isomorfos (tienen la misma estructura) al problema fuente.

Implicaciones para la enseñanza de las ciencias

Hasta aquí se ha puesto de relieve la incidencia de los mecanismos de la transferencia en las tareas de aprendizaje en general, y en la resolución de problemas en particular. También se ha destacado el papel que desempeñan ciertas variables y procesos cognitivos y metacognitivos, así como el de determinadas metodologías de enseñanza/aprendizaje sobre la transferencia. A partir de todo ello, se plantean a continuación algunas posibles medidas instruccionales que pueden ser útiles para ayudar a los estudiantes en el desarrollo de estrategias para la transferencia.

- Hay que conseguir una comprensión y aplicación de los contenidos. Para ello los estudiantes tienen que saber siempre lo que hacen y por qué lo hacen. Una didáctica de las ciencias rigurosa tendría que integrar los procesos de asimilación y aplicación del conocimiento conceptual. El diseño de las unida-

des didácticas debe basarse tanto en los contenidos específicos de la asignatura (conceptos, teorías, leyes, etc), como en el desarrollo de habilidades cognitivas (análisis, síntesis, inferencia, razonamiento abstracto, etc)

- Los métodos de enseñanza tradicionales (clases magistrales, resolución de problemas algorítmicos, trabajo individual en exclusiva, etc.) no son compatibles con la consecución del aprendizaje significativo de conceptos ni con el fomento de habilidades cognitivas de alto nivel (Zoller et al., 1995). La educación científica tiene que desplegar prácticas instruccionales de trabajo colaborativo para desarrollar capacidades básicas y de razonamiento científico (formular hipótesis, poner a prueba hipótesis, explicar, interpretar, diseñar experimentos o dispositivos, justificar decisiones, razonar críticamente, etc.). Esto es, el trabajo en grupo en el aula debería ser diseñado para maximizar su función sociocognitiva, de modo que pueda producirse un *conflicto* beneficioso.
- Proveer a los estudiantes de diversas, continuas y prolongadas experiencias de resolución de problemas. Con este fin es importante: a) practicar estrategias de reconocimiento de similitudes entre problemas de diferente/igual estructura y superficie o contexto, con el objetivo fundamental de aprender a abstraer el “esquema” del problema; b) resolver problemas tanto de la misma estructura en múltiples

contextos, como del mismo contexto con diferentes estructuras; y c) llevar a cabo una gradación en el nivel de transferencia requerida en la resolución de los problemas que se planteen en una secuencia didáctica: comenzar por problemas de transferencia de aplicación (del mismo contexto que con el que se ha aprendido) y acabar en problemas de transferencia lejana (muy distinto contexto que con el que se ha aprendido).

- Se ha de ayudar a los estudiantes a que elaboren representaciones abstractas de las situaciones problemáticas. Es decir, los estudiantes han de asumir que la construcción de modelos mentales adecuados (modelo de la situación y modelo del problema) constituyen pasos básicos para resolver problemas. Estos modelos permiten abstraer el “esquema” del problema y “traducir” el enunciado del problema al lenguaje matemático. Una buena manera de hacerlo puede ser usar representaciones externas mediante símbolos y objetos que pueden ayudar al aprendiz a comprender el enunciado de un problema, explicitar sus condiciones, limitar la carga cognitiva y generar vías de solución para el problema (Scaife & Rogers, 1996). En este sentido, Bauer y Johnson-Laird (1993), confirman que los diagramas ayudan eficazmente a los estudiantes a resolver los problemas.
- Se han de diseñar actividades en el currículo que permitan: a) la conexión entre los conocimientos y des-

trezas aprendidos en el aula y los que los estudiantes tienen procedentes del mundo que les rodea; b) aprender en contextos del mundo real que resulten interesantes para los estudiantes; y c) aplicar aprendizajes de una asignatura en otras. En este punto, las simulaciones con ordenador u otro tipo de aplicaciones informáticas pueden resultar de gran utilidad.

- Ofrecer actividades de carácter metacognitivo como parte del currículo científico. Tales actividades deben tratar, entre otros aspectos, la existencia de diferentes tipos de conocimiento, la importancia del conocimiento esquemático de problemas, el uso de heurísticos en la resolución de problemas y la explicación del papel de las estrategias/habilidades metacognitivas en los distintos pasos o procesos de resolución de problemas (Solaz-Portolés, Sanjosé y Gómez, 2011). Se debe prestar especial atención al conocimiento esquemático de problemas, por su decisivo papel como guía en el razonamiento analógico.

Bibliografía

ANOLLI, L., ANTONIETTI, A., CRISAFULLI, L., & CANTOIA, M. (2001). Accessing source information in analogical problem-solving. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54A(1), 237–261. <http://dx.doi.org/10.1080/02724980042000093>

BARNETT, S. M., & CECI, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn? A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128, 612–637. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.128.4.612>

BAUER, M. I., & JOHNSON-LAIRD, P. N. (1993). How diagrams can improve reasoning. *Psychological Science*, 4, 372–378. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00584.x>

BASSOK, M. Y HOLYOAK, K. J. (1989). Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 153–166. <http://dx.doi.org/10.1037/0278-7393.15.1.153>

BLOOM, J. W. (2007). A theoretical model of learning for complexity: Depth, extent, abstraction, and transfer. Annual Meeting of the American Educational Research Association, Chicago, April 11. Disponible en www.jeffbloom.net/docs/CmplxTchgLrngModelAERA07.pdf

BUTTERFIELD, E. C., & NELSON, G. D. (1991). Promoting positive transfer of different types. *Cognition and Instruction*, 8(1), 69–102. http://dx.doi.org/10.1207/s1532690xci0801_3

BEREITER, C., & SCARDAMALIA, M. (1985). Cognitive coping strategies and the problem of “inert knowledge.” In S. F. Chipman, J. W. Segal, & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills: Current research and open questions* (pp. 65–80). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

- BERNARDO, A.B.I. (2001). Analogical problem construction and transfer in mathematical problem solving. *Educational Psychology*, 21(2), 137-150. <http://dx.doi.org/10.1080/01443410020043841>
- BRANDSFORD, J. D., BROWN, A. L., & COCKING, R. R. (2000). *How people learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*. Washington: National Academic Press. Disponible en www.nap.edu/catalog/9853.html
- BRANDSFORD, J. D., SHERWOOD, R., VYE, N., & REISER, J. (1986). Teaching thinking and problem solving: Research foundations. *American Psychologist*, 41, 1078-1089. <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.41.10.1078>
- BYRNES, J. P. (1996). *Cognitive Development and Learning in Instructional Contexts*. Boston: Allyn and Bacon.
- CARPENTER, T. P., HIEBERT, J. Y J.M. MOSER (1981). Problem structure and first grade children's initial solution processes for simple addition and subtraction problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 12(1), 27-39. <http://dx.doi.org/10.2307/748656>
- CARPINTERO M.E. (2002). *El proceso del transfer: revisión y nuevas perspectivas*. Departamento de Psicología y Educación. Universidad Camilo José Cela (Consultado en: <http://www.ucjc.edu/pdf/publicaciones/Edupsikhe/vol-1/cap4-vol1-num1.pdf>)
- CECI, S. J. (1991). How much does schooling influence general intelligence and its cognitive components? A reassessment of the evidence. *Developmental Psychology*, 27, 703-722. <http://dx.doi.org/10.1037/0012-1649.27.5.703>
- CERDÁN, F. (2008). Estudios sobre la Familia de Problemas Aritmético-Algebraicos. Tesis doctoral. Valencia: Servei de Publicacions de la Universitat de València
- CHAPLIN, J. P., & KRANIEC, T. (1984). *Psicología : Sistemas y teorías*. México, D. F.: Nueva Editorial Interamericana.
- CHEN, Z., YANOWITZ, K. L., & DAEHLER, M. W. (1995). Constraints on accessing abstract source information: Instantiation of principles facilitates children's analogical transfer. *Journal of Educational Psychology*, 87, 445-454. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.87.3.445>
- CHEN, Z. and DAEHLER, M. W. (2000) 'External and Internal Instantiation of Abstract Information Facilitates Transfer in Insight Problem Solving'. *Contemporary Educational Psychology*, 25: 423-49. <http://dx.doi.org/10.1006/ceps.1999.1030>
- CHEN, Z., & KLAHR, D. (2008). Remote transfer of scientific reasoning and problem solving strategies in children. In R. V. Kail (Ed.), *Advances in Child Development and Behaviour* (pp. 419-470). Amsterdam: Elsevier.
- CHI, M.T.H., FELTOVICH, P.J., & GLASER, R. (1981). Categorization

- and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152. http://dx.doi.org/10.1207/s15516709cog0502_2
- CHRISTOU, C. & PHILIPPOU, G. (1998). The developmental nature of ability to solve one step word problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 29(4), 436-443. <http://dx.doi.org/10.2307/749860>
- CLEMENT, C.A., & GENTNER, D. (1991). Systematicity as a selection constraint in analogical mapping. *Cognitive Science*, 15, 89-132. http://dx.doi.org/10.1207/s15516709cog1501_3
- DAY, S.B., & GOLDSTONE, R.L. (2011). Analogical transfer from a simulated physical system. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 37, 551-567. <http://dx.doi.org/10.1037/a0022333>
- DE LA FUENTE, J., BAILLO, M., GABUCIO, F., & TUBAU, E. (1989). Similitudes superficiales en solución de problemas por analogía. *Cognitiva*, 2(2), 3-19.
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649-672. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730750606>
- FORTUS, D., KRAJCIK, J., DERSHIMER, R.C., MARX, R.W., & NAMLOK-NAAMAN, R. (2005). Design-based science and real world problem-solving. *International Journal of Science Education*, 27, 855-879. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690500038165>
- GAGNÉ, R.M. (1971). *Las condiciones del aprendizaje*. Madrid: Aguilar.
- GAGNÉ, R.M. (1976). *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*. Montreal : Editions HRW.
- GENTNER, D. (1983). Structure mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170. http://dx.doi.org/10.1207/s15516709cog0702_3
- GENTNER, D., BREM, S., FERGUSON, R., MARKMAN, A., LEVIDOW, B., WOLFF, P., & FORBUS, K. (1997). Analogical Reasoning and Conceptual Change: A Case Study of Johannes Kepler. *The Journal of the Learning Sciences*, 6 (1), 3-40. http://dx.doi.org/10.1207/s15327809jls0601_2
- GENTNER, D. & HOLYOAK, K.J. (1997). Reasoning and learning by analogy. *American Psychologist*, 52, pp. 32-34. <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.52.1.32>
- GENTNER, D., HOLYOAK, K. J., & KOKINOV, B. (Eds.). (2001). *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- GICK, M.L. & HOLYOAK (1980), K.J. Analogical problem-solving. *Cognitive Psychology*, 15, pp. 306-355. [http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90013-4](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(80)90013-4)
- GICK, M.L., & HOLYOAK, K.J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15,

- 1-38. [http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(83\)90002-6](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(83)90002-6)
- GILBERT, J. K., BULTE, A. M. W., & PILOT, A. (2011). *International Journal of Science Education*, 33, 817-837. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2010.493185>
- GOLDSTONE, R.L. & SAKAMOTO, Y. (2003). The transfer of abstract principles governing complex adaptative systems. *Cognitive Psychology*, 46, 414-466. [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-0285\(02\)00519-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-0285(02)00519-4)
- GÓMEZ, C.B., SOLAZ-PORTOLÉS, J.J., & SANJOSÉ, V. (2012 (a)) Efectos de la similitud superficial y estructural sobre la transferencia a partir de análogos en problemas de alta y baja familiaridad. Aceptado para su publicación en *Enseñanza de las Ciencias*.
- GÓMEZ, C. B., SOLAZ-PORTOLÉS, J. J., & SANJOSÉ, V. (2012 (b)). Analogy construction and success in mathematics and science problem-solving: A study with secondary students. Aceptado para su publicación en *Revista de Psicodidáctica*
- HASKELL, R.E. (2001). *Transfer of learning: Cognition, instruction and reasoning*. San Diego, CA: Academic Press.
- HENDRICKSON, G., & SCHROEDER, W.H. (1941). Transfer of training to hit a submerged target. *Journal of Educational Psychology*, 32, 205-213. <http://dx.doi.org/10.1037/h0056643>
- HEYWOOD, D. & 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, 869-885. <http://dx.doi.org/10.1080/0950069970190801>
- HOLLAND, J.H., HOLYOAK, K.J., NISBETT, R.E., & THAGARD (1986). *Induction: Processes of inference, learning, and discovery*. Cambridge MASS: MIT Press.
- HOLYOAK, K.J. (1984). Mental models in problem solving. En J. R. Anderson & S. M. Kosslyn (Eds.) *Tutorials in learning and memory: Essays in honour of Gordon Bower*. S. Francisco: Freeman.
- HOLYOAK, K.J., & KOH, K. (1987), Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory and Cognition*, 15, 332-340. <http://dx.doi.org/10.3758/BF03197035>
- HSU, Y.S., & THOMAS, R.A. (2002). The impact of a web-aided instructional simulation on science learning. *International Journal of Science Education*, 24, 955-979. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690110095258>
- HUMMEL, J. E., & HOLYOAK, K. J. (1997). Distributed representations of structure: A theory of analogical access and mapping. *Psychological Review*, 104, 427-466. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.104.3.427>
- KEANE, M. T. (1987). On retrieving analogues when solving problems. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39, 29-41. <http://dx.doi.org/10.1080/02724988743000015>

- KEANE, M.T. (1988). *Analogical problem solving*. Chichester: Ellis Horwood.
- JUDD, C.H. (1908). The relation of special training to general intelligence. *Educational Review*, 36, 28-42.
- KEILER, L.S. (2007). Students' explanations of their data handling: Implications for transfer of learning. *International Journal of Science Education*, 29, 151-172. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690600560910>
- KESELMAN, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariate causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 49, 898-921. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.10115>
- KLAUSMIER, H. J. (1984). *Educational Psychology* (5th Ed.). New York: Harper and Row.
- LIN, X., & LEHMAN, J. D. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 837-858. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199909\)36:7<837::AID-TEA6>3.0.CO;2-U](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199909)36:7<837::AID-TEA6>3.0.CO;2-U)
- LOBATO, J. (2006). Alternative perspectives on the transfer of learning: History, issues, and challenges for future research. *Journal of the Learning Sciences*, 15(4), 431-449. http://dx.doi.org/10.1207/s15327809jls1504_1
- LOEWENSTEIN, J., THOMPSON, L. & GENTNER, D. (1999). Analogical encoding facilitates knowledge transfer in negotiation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 586-597. <http://dx.doi.org/10.3758/BF03212967>
- MAYER R. (1984) "Aids to text comprehension". *Educational Psychologist*, 19 (1) 30-42. <http://dx.doi.org/10.1080/00461528409529279>
- MCINTOSH, W. J. (1986). The effect of imagery generation on science rule learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660230101>
- NESHER, P. y S. HERSHKOVITZ (1994). The role of schemes in two-step problem: Analysis and research findings. *Educational Studies in Mathematics*, 26(1), 1-23. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01273298>
- NIEDELMAN, M. (1991). Problem solving and transfer. *Journal of Learning Disabilities*, 24(6), 322-329. <http://dx.doi.org/10.1177/002221949102400601>
- NOVICK, L. (1988). Analogical transfer, problem similarity, and expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 14, 510-520. <http://dx.doi.org/10.1037/0278-7393.14.3.510>
- OLIVER, R., & OKEY, J. (1986). Using computer simulations to promote achievement and transfer. *Research in Science Education*, 16, 191-198. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02356834>
- ORRANTIA, J., GONZÁLEZ, L.B. & VICENTE, S. (2005). Analysing

- arithmetic Word problems in Primary Education textbooks. *Infancia y Aprendizaje*, 28(4), 429-451. <http://dx.doi.org/10.1174/021037005774518929>
- PERKINS, D. N., & SALOMON, G. (1988). Teaching for transfer. *Educational Leadership*, 46(1) 22-32.
- PICUS, L. (1983). *Teaching problem solving: A research synthesis*. Portland, OR: NREL
- POTGIETER, M., HARDING, A., & ENGELBRECHT, J. (2008). Transfer of algebraic and graphical thinking between mathematics and chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 197-218. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20208>
- PRICE, E. A., & DRISCOLL, M. P. (1997). An inquiry into the spontaneous transfer of problem-solving skill. *Contemporary Educational Psychology*, 22, 472-494. <http://dx.doi.org/10.1006/ceps.1997.0948>
- PULIDO, M.A., DE LA GARMA, M., & PÉREZ, C. (2010). Solución de problemas por transferencia analógica: efectos de la disponibilidad del modelo. *Revista Intercontinental de Psicología y Educación*, 12, 157-170.
- PULIDO, M.A., OLMOS, E., & LANZAGORTA, N. (2005). La solución de problemas de cuatro términos por transferencia analógica: el efecto de las similitudes superficiales y del tipo de problema. *Revista Mexicana de Psicología*, 22, 433-440.
- PUIG, L. Y CERDÁN, F. (1988). Problemas aritméticos escolares. Madrid: Síntesis.
- REBELLO, N. S.; CUI, L., BENNET, A. G.; ZOLLMAN, D. A. & OZIMEK, D. J. (2007). Transfer of learning in problem solving in the context of mathematics and physics. En D. Jonassen (Ed.), *Learning to solve complex scientific problems*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Earlbaum.
- REED, S. K., & BOLSTAD, C. A. (1991). Use of examples and procedures in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 17, 753-766. <http://dx.doi.org/10.1037/0278-7393.17.4.753>
- REED, S. K., DEMPSTER, A., & ETTINGER, M. (1985). Usefulness of analogous solutions for solving algebra word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 11, 106-125. <http://dx.doi.org/10.1037/0278-7393.11.1.106>
- REED, S.K. (1987). A structure-mapping model for word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13, 124-139. <http://dx.doi.org/10.1037/0278-7393.13.1.124>
- REED, S. K., ERNST, G., & BANERJI, R. (1974). The role of analogy in transfer between similar problem states. *Cognitive Psychology*, 6, 436-450. [http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(74\)90020-6](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(74)90020-6)
- RESNICK, L. (1987). *Education and learning to think*. Washington, DC: National Academic Press.
- REEVES, L.M., & WIESBERG, R.W. (1994). The role of content and

- abstract information in analogical transfer. *Psychological Review*, 115, 381-400.
- SALOMON, G., & PERKINS, D. N. (1987). Transfer of cognitive skills from programming: When and how? *Journal of Educational Computing Research*, 3(2), 149-169. <http://dx.doi.org/10.2190/6F4Q-7861-QWA5-8PL1>
- SAMPSON, V., & CLARK, D. (2009). The impact of collaboration on the outcomes of scientific argumentation. *Science Education*, 93, 448-484. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.20306>
- SANJOSÉ, V., SOLAZ-PORTOLÉS, J. J., & VALENZUELA, T. (2009). Transferencia inter-dominios en resolución de problemas: una propuesta instruccional basada en el proceso de "traducción algebraica". *Enseñanza de las Ciencias*, 27, 169-184.
- SANJOSÉ, V., VALENZUELA, T., FORTES, M.C., & SOLAZ-PORTOLÉS, J.J. (2007). Dificultades algebraicas en la resolución de problemas por transferencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6, 538-561.
- SALOMON, G., & PERKINS, D. N. (1989). Rocky roads to transfer: Rethinking mechanisms of a neglected phenomenon. *Educational Psychologist*, 24 (2), 113-142. http://dx.doi.org/10.1207/s15326985ep2402_1
- SCAIFE, M., & ROGERS, Y. (1996). External cognition: How do graphical representations work?. *International Journal of Human-computer Studies*, 45, 185-213. <http://dx.doi.org/10.1006/ijhc.1996.0048>
- SIEGLER, R. S. (2006). Microgenetic analyses of learning. In W. Damon & R. M. Lerner (Series Eds.) & D. Kuhn & R. S. Siegler (Vol. Eds.), *Handbook of child psychology: Volume 2: Cognition, perception, and language* (6th ed., pp. 464-510). Hoboken, NJ: Wiley.
- SINGLEY, K., & J.R. ANDERSON (1989). *The Transfer of Cognitive Skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- SCHÖNBORN, K.J., & BÖGEHOLZ, S. (2009). Knowledge transfer in Biology and translation across external representations: Experts' views and challenges for learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 931-955. <http://dx.doi.org/10.1007/s10763-009-9153-3>
- SCHWARTZ, D. L. (1993). The construction and analogical transfer of symbolic visualizations. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1309-1325. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660301011>
- SOLAZ-PORTOLÉS, J. J., RODRÍGUEZ, C., GÓMEZ, A., & SANJOSÉ, V. (2010). Conocimiento metacognitivo de las estrategias y habilidades mentales utilizadas para resolver problemas: un estudio con profesores de ciencias en formación. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 24, 139-152.

- SOLAZ-PORTOLÉS, J. J., & SANJOSÉ, V. (2008a). Types of knowledge and their relations to problem solving in science: directions for practice. *Sísifo, Educational Sciences Journal*, 6, 105-112.
- SOLAZ-PORTOLÉS, J. J. & SANJOSÉ, V. (2008b). Conocimientos y procesos cognitivos en la resolución de problemas de ciencias: consecuencias para la enseñanza. *Magis, Revista Internacional de Investigación en la Educación*, 1, 147-162.
- SOLAZ-PORTOLÉS, J. J., SANJOSÉ, V., & GÓMEZ, A. (2011). Aprendizaje basado en problemas en la educación superior: una metodología necesaria en la formación del profesorado. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 25, 177-186.
- SOLAZ-PORTOLÉS, J. J., SANJOSÉ, V., & GÓMEZ, C. B. (2011). La investigación sobre la influencia de las estrategias y la motivación en la resolución de problemas: implicaciones para la enseñanza. *Latin American Journal of Physics Education*, 5 (4), 788-795.
- SOLOMON, I. (1994). Analogical transfer and "functional fixedness" in the science classroom. *Journal of Educational Research*, 37, 371-377. <http://dx.doi.org/10.1080/00220671.1994.9941268>
- SPENCER, R. M. y WEISBERG, R. W. (1986). Context-dependent effects on analogical transfer. *Memory and Cognition*, 14, 442-449. <http://dx.doi.org/10.3758/BF03197019>
- STERNBERG, R. J. (1985). *Beyond IQ. A triarchic theory of human intelligence*. Nueva York: Cambridge University Press.
- STERNBERG, R. (1996). *Cognitive Psychology*. Orlando: Harcourt Brace College Publishers.
- ST-YVES, A. (1988). *Psicología de la enseñanza-aprendizaje*. México, D. F.: Trillas.
- THORNDIKE, E. L. (1924). Mental discipline in high school studies. *Journal of Educational Psychology*, 25, 1-22. <http://dx.doi.org/10.1037/h0075386>
- THORNDIKE, E. L., & WOODWORTH, R. S. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. *Psychological Review*, 8, 247-261. <http://dx.doi.org/10.1037/h0074898>
- VALENTIN, J. D. y L. CHAP-SAM (2005). Roles of semantic structure of arithmetic word problems on pupils' ability to identify the correct operation. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning (electronic journal)*. En <http://www.cimt.plymouth.ac.uk/journal/valentin.pdf>.
- VANLEHN, K. (1990). *Mind bugs: origins of procedural misconceptions*. Cambridge, Mass.: MIT Press Simon y C. A. Kaplan [Eds.]. *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- VAN LEHN, K. (1990). Problem solving and cognitive skill acquisition. En H. A.

- VANLEHN, K. (1998). Analogy events: How examples are used during problem solving. *Cognitive Science*, 22, 347-388. http://dx.doi.org/10.1207/s15516709cog2203_4
- VOSS, J.F. (1987). Learning and transfer in subject-matter learning: a Problem-solving model. *International Journal of Educational Research*, 11, 607-622. [http://dx.doi.org/10.1016/0883-0355\(87\)90005-X](http://dx.doi.org/10.1016/0883-0355(87)90005-X)
- VOSNAIDOU, S. & ORTONY, A. (1989). Similarity and analogical reasoning: A synthesis. In S. Vosnaidou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp 1-17). Cambridge: Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511529863>
- WARNAKULASOORIYA, R., & PRITCHARD, D. E. (2005). Learning and problem-solving transfer between physics problems using webbased homework tutor. *EdMedia Conference Proceedings*.
- WESMAN, A. G. (1945). A study of transfer of training from high school subjects to intelligence. *Journal of Educational Research*, 39, 254-264.
- WILLIAMS, W. H., PAPIERNO, P. B., MAKEL, M. C., & CECI, S. J. (2004). Thinking like a scientist about real-world problems: The Cornell Institute for Research on children science education program. *Applied Developmental Psychology*, 25, 107-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appdev.2003.11.002>
- ZOLLER, U., LUBEZKY, A., NAKHLEH, M. B., TESSIER, B., & DORI, Y. J. (1995). Success on algorithmic and LOCS vs. conceptual chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, 72, 987-989. <http://dx.doi.org/10.1021/ed072p987>

