

- Cassiano K. F. D.; Echeverría A. R.; Abordagem Ambiental em Livros Didáticos de Química: Princípios da Carta de Belgrado. *Química Nova*, 36, [3], p. 220-230, 2014.
- Corrêa, A. D.; Caminha J. R.; Souza C. A. M.; Alves L. A.; Uma abordagem sobre o uso de medicamentos nos livros didáticos de biologia como estratégia de promoção de saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, 18, [10], p. 3071-3081, 2013.
- Denzin, N. K.; Lincoln Y. S.; *O Planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens*. Artmed, Porto Alegre, BR, 2005, 432p.
- GUIA. *Guia de livros didáticos: PNLD 2015: Química: ensino médio*. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, Brasília, BR, 2014, 60p.
- Lopes A. C.; *Currículo e Epistemologia*. Unijuí, Ijuí, BR, 2007, p. 205-228.
- Lüdke M.; André M. E. D. A.; *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. Pedagógica e Universitária, São Paulo, BR, 1986, 99p.
- Karatekina K.; Environmental literacy in Turkey primary schools social studies textbooks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 46, p. 3519-3523, 2012.
- Maia J. O.; Sá L. P.; Massena E. P.; Wartha E. J.; O livro didático de Química nas Concepções de Professores do Ensino Médio da Região Sul da Bahia. *Química Nova na Escola*, 33, [2], p. 115-124, 2011.
- Marpica N. S.; Logarezzi A. J. M.; Um panorama das pesquisas sobre livro didático e educação ambiental. *Ciência e Educação*, 16, [1], p. 115-130, 2010.
- Martin M. O.; Mullis I.; Foy P.; Stanco G.; *TIMSS 2011 International Results in Science*. Lynch School of Education, Boston College Chestnut Hill, MA, USA. 2012. 532p.
- Núñez I. B.; Ramalho B. L.; Silva I. K. P.; Campos A. P. N.; A Seleção dos Livros Didáticos: um saber necessário ao professor. O caso do ensino de ciências. *Revista Iberoamericana Educación*, p. 1-12, 2003. Disponível em: <<http://www.rioei.org/deloslectores/427Beltran.pdf>>. Acesso em: 01 de Maio de 2015.
- Oates T. Could do better: Using international comparisons to refine the National Curriculum in England. *Cambridge Assessment*. 2010.
- Oates T. Why textbooks count. *Cambridge Assessment*. 2014.
- Ocelli M.; Valeiras N. Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31, [2], p. 133-152, 2013.
- Peruzzi H. U. et al.; *Livros Didáticos, Analogias e Mapas Conceituais no Ensino de Célula*. In: Aragão, R. M. R. de; Schnetzler, R. P.; Cerri, Y. L. N. S. (Org.) *Modelo de Ensino: Corpo Humano, Célula, Reações de Combustão*, UNIMEP/CAPES/PROIN, Piracicaba, BR, 2000.
- Romanatto M. C.; *O livro didático: alcances e limites*. In: Encontro paulista de matemática, SBEM, São Paulo, BR, p. 1-7, 2004. Disponível em: <[http://www.sbempaulista.org.br/epem/anais/mesas\\_redondas/mr19-Mauro.doc](http://www.sbempaulista.org.br/epem/anais/mesas_redondas/mr19-Mauro.doc)>. Acesso em: 04 de Maio de 2015.
- Santos W. L.; Carneiro M. H. S.; Livro Didático de Ciências: Fonte de informação ou apostila de exercícios. *Contexto e Educação*, 76, [21], p.201-206, 2006.
- Tucker M.; *Rewriting the textbooks for the Common Core National Center on Education and the Economy*. 2014.
- Vasconcelos S. D.; Souto E.; O Livro Didático de Ciências no Ensino Fundamental – proposta de critérios para análise do conteúdo zoológico. *Ciência & Educação*, 9, [1], p. 93-104, 2003.

Received 18-05-2015 / Approved 30-11-2016

## La teoría del aprendizaje significativo en la enseñanza de las ciencias: ¿Una moda pedagógica más?

## Meaningful learning Theory in science education: just another pedagogical trend?

G. MARTÍNEZ<sup>1</sup>, F. L. NARANJO<sup>2</sup>, A. L. PÉREZ<sup>2</sup>, M. I. SUERO<sup>2</sup> & P. J. PARDO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Didactics of Experimental Sciences and Mathematics, University of Extremadura, Avda. de Elvas, s/n, 06071 Badajoz

<sup>2</sup>Department of Physics, University of Extremadura, España

mmarbor@unex.es

### Resumen

El método de enseñanza más extendido hace unos años era el puramente receptivo, luego derivó al aprendizaje por descubrimiento (ya fuera causal, ya dirigido) y en la actualidad está ampliamente aceptado que el aprendizaje significativo es el sistema didáctico más eficaz. La cuestión es, ¿cuál será el método pedagógico de moda dentro de unos años?, ¿cuántos años durará esta moda de considerar el aprendizaje significativo como el mejor método didáctico? En el trabajo que presentamos hemos construido un razonamiento titulado “¿Es nuestro cerebro fisiológicamente constructivista?”, con el objetivo de resaltar la necesidad del aprendizaje significativo en la enseñanza de las ciencias.

Concretamente, se pretende poner de manifiesto que el constructivismo no es una moda pedagógica más. Fisiológicamente, nuestro cerebro está constituido de forma que funciona buscando el significado de la información que le llega y, por tanto, el aprendizaje significativo no es una opción didáctica, sino una exigencia fisiológica de nuestro cerebro.

**Palabras clave:** aprendizaje significativo, física, didáctica, constructivismo, ciencias

### Abstract

Fifty years ago the most widespread method of teaching was purely receptive. Discovery learning followed afterwards, and now is widely accepted that meaningful learning is the more effective educational system. What will be the preferred pedagogical method in a few years? How many years will be meaningful learning considered as the best teaching method? In this work we have constructed a reasoning which aims to highlight the need for meaningful learning in the teaching of sciences.

We want to show that constructivism is not just another pedagogical trend. Physiologically, our brain searches for the meaning of the information it receives,

so meaningful learning is not a teaching option, but a physiological requirement of our brain.

The processes of visualization and conceptualization have many common characteristics. What is done in both is to abstract the constant features of either the objects or the objects or events and build either a visual world or a cognitive structure. We could therefore extrapolate what is known of the brain process of viewing to the brain process of conceptualization.

**Key words:** meaningful learning, physics, didactics, constructivism, sciences

## INTRODUCCIÓN

### Teorías de aprendizaje

Los enfoques constructivistas del aprendizaje se han ido constituyendo a partir de las investigaciones de Piaget sobre el desarrollo genético de la inteligencia (Piaget 1976; Piaget 1978). Las teorías de Piaget señalan el punto de partida de las concepciones constructivistas del aprendizaje como un proceso de construcción interno, activo e individual. Para este autor, el mecanismo básico de adquisición de conocimientos consiste en un proceso en el que las nuevas informaciones se incorporan a los esquemas pre-existentes en la mente de los alumnos, que se modifican y reorganizan según un mecanismo de asimilación y acomodación facilitado por la actividad de la persona. Piaget no pretendió que sus investigaciones tuvieran implicaciones educativas. Sin embargo, éstas eran inevitables, pues los conocimientos que se pretenden que aprenda el alumno tienen que adaptarse a su estructura cognitiva (Tünnermann, 2011).

Las teorías de Piaget fueron el punto de partida para las investigaciones posteriores que pusieron en entredicho los enfoques conductistas del aprendizaje. Por ejemplo, Ausubel et al. (1968) con su teoría de los aprendizajes significativos, y Vigotsky (1995), con su integración de los aspectos psicológicos y socioculturales han tenido un gran impacto en la psicología, la pedagogía y la educación actual, en lo que concierne a la teoría del aprendizaje. Ausubel acuñó la terminología de “aprendizaje significativo” para distinguirlo del aprendizaje repetitivo o memorístico, partiendo de la idea de Piaget sobre el papel que desempeñan los conocimientos previos en la adquisición de la nueva información. Para Ausubel (2000) la significatividad sólo es posible si se logran relacionar los nuevos conocimientos con los que ya posee el sujeto. En este sentido, Ausubel hace una gran crítica al aprendizaje por descubrimiento y a la enseñanza mecánica repetitiva tradicional, al indicar que resultan muy poco eficaces para el aprendizaje de las ciencias. Para este autor, aprender significa comprender, y para ello es necesario tener en cuenta lo que el alumno ya sabe sobre aquello que se le quiere enseñar. Propone la necesidad de diseñar unos puentes cognitivos a partir de los cuales los alumnos puedan establecer relaciones significativas con los nuevos contenidos. Defiende un modelo didáctico significativo de transmisión-recepción que supere las deficiencias del modelo tradicional, al tener en cuenta el punto de partida de los alumnos y la estructura y jerarquía de los conceptos. Novak y Gowin (1984), a partir de los trabajos de Ausubel sobre la asimilación de los conocimientos, señala que el nuevo aprendizaje depende de la cantidad y de la calidad de las estructuras de organización cognoscitivas existentes en cada persona. Por lo tanto, para Ausubel y Novak, lo fundamental es conocer las ideas previas de los alumnos (Tünnermann, 2011).

Teniendo en cuenta estos antecedentes y a partir de las reflexiones sobre la construcción del conocimiento científico de numerosos investigadores, podemos considerar que la psicología cognitiva nos ha permitido esclarecer y entender cómo aprenden nuestros alumnos. Estos aportes de la psicología cognitiva inciden, necesariamente, en la didáctica de las diferentes disciplinas del conocimiento humano, como por ejemplo puede ser nuestra área de conocimiento: la enseñanza de las ciencias. Concretamente, existen numerosas investigaciones basadas en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias desde un punto de vista de las teorías constructivistas (Abell & Lederman, 2007). Muchas de estas contribuciones científicas tienen su origen en el constructivismo, y se basan en el aprendizaje de conceptos analizando las ideas previas de los alumnos o preconcepciones (Martínez, 2013), en la resolución de problemas, en los trabajos prácticos, en la implantación de nuevas metodologías docentes que ayuden a los alumnos a alcanzar un aprendizaje significativo, siempre en contraposición con las teorías pedagógicas de transmisión/recepción. Campos and Gaspar (1996) afirman que el constructivismo es hoy en día el paradigma predominante en la investigación cognoscitiva en educación. Autores como Matthews (1997), resaltan la utilidad del constructivismo en la enseñanza de las ciencias, al alertar a los docentes de la importancia de los conceptos previos para la construcción del conocimiento como uno de los objetivos para la educación científica. No obstante, Matthews también nos señala que muchos de los aspectos del constructivismo ya aparecieron en los trabajos de Sócrates, y resalta que, en algunas ocasiones, la pedagogía constructivista puede llevarse a cabo sin una epistemología constructivista estrictamente hablando. Sin embargo, el autor reconoce que en la enseñanza de las ciencias, los educadores necesitan estar hasta cierto punto familiarizados con la tradición del debate epistemológico en filosofía. En esta línea, Gil-Pérez et al. (2002) y Niaz et al. (2003) llevan a cabo un interesante debate defendiendo posturas opuestas sobre la conceptualización del constructivismo. Más recientemente, Vilches & Gil-Pérez (2012) cuestionan la supremacía del constructivismo en la enseñanza de la física. Sin embargo, hoy día es el paradigma pedagógico predominante y por tanto la pregunta que nos planteamos en este trabajo es, ¿la teoría del aprendizaje significativo es un paradigma pedagógico más? o ¿el aprendizaje significativo es una exigencia fisiológica de nuestro cerebro debido a su constitución fisiológica? Es decir, actualmente existen numerosas investigaciones que han indagado en la forma en que el cerebro adquiere la información del mundo exterior cuando visualiza (Gerald, 1990; Zeki, 1992; Zeki and Shipp, 1988) y sin embargo, el funcionamiento del cerebro cuando conceptualiza está muy poco estudiado, por tanto, en este trabajo tratamos de relacionar y extrapolar los conocimientos sobre la fisiología del cerebro en su proceso de visualización a lo que ocurre en su proceso de conceptualización, con el objetivo de poner de manifiesto que, el aprendizaje significativo en la enseñanza de la física es una necesidad fisiológica de nuestro cerebro, más que un simple paradigma

educativo del momento actual. Sánchez (1995) considera que el logro más importante de la psicología cognitiva ha sido demostrar la necesidad de la representación mental para explicar los fenómenos cognitivos, desde la percepción hasta la comprensión. Se considera que nuestra mente opera o procesa un gran número de percepciones, ideas, creencias, hipótesis, pensamientos y recuerdos, y que todas estas realidades que percibimos son representaciones mentales o símbolos de uno u otro tipo. Es decir, el proceso comienza en el sistema sensorial. Cuando vemos algo el cerebro debe crear representaciones simbólicas de la información física y luego operar sobre esas representaciones. El estudio del sistema visual entraña la indagación de la forma en que el cerebro adquiere conocimiento del mundo exterior, planteamiento analizado durante los últimos años en diversas investigaciones y que no ha resultado una tarea sencilla.

Más concretamente, la neurología fundamenta claramente la necesidad de las representaciones simbólicas para conocer y comprender la realidad. Cric and Koch (1992) afirman que aunque la principal función del sistema visual sea la de percibir objetos y sucesos en el mundo que nos rodea, la información disponible para nuestros ojos no basta por sí sola, para que el cerebro se haga con su singular interpretación del mundo visual. El cerebro ha de invocar experiencias anteriores para que le ayuden a interpretar la información que recibimos por los ojos. Este planteamiento está en relación con la afirmación que realiza Ausubel (1978): “*Si tuviera que reducir toda la psicología de la educación a un solo principio, diría lo siguiente: El factor individual más importante que influye en el aprendizaje es lo que el aprendiz ya conoce. Determina esto y enséñale consecuentemente.*” Este principio es actualmente reconocido como fundamental para entender cómo aprenden las personas, específicamente que construyen nuevo conocimiento mediante la integración de nuevos conceptos y proposiciones con conceptos y proposiciones relevantes que ya conocían. La Teoría de la Asimilación de Ausubel explica como los humanos construyen sus estructuras de conocimiento o cognitivas. El reto para el docente es identificar con alguna precisión los conceptos y proposiciones que el alumno ya conoce y que son relevantes al material que se debe aprender, y luego diseñar la instrucción para facilitar la integración de nuevos conceptos y proposiciones a la estructura de conocimiento o cognitiva de ese alumno. Ahora bien, la pregunta que nos plantea es ¿la formación de imágenes es un proceso constructivo? ¿Está relacionada la visión con la percepción?

#### **La formación de imágenes visuales en nuestro cerebro**

Las explicaciones actuales sobre la formación de las imágenes visuales en nuestro cerebro han sido el resultado de la evolución de numerosos estudios de investigación en los últimos años. Así por ejemplo, a finales del siglo pasado, los primeros neurólogos, consideraban que los objetos transmitían códigos visuales en la luz que emitían o reflejaban, lo que les llevó a pensar que las imágenes quedaban impresas en la retina, como si ésta fuera una placa fotográfica. Las impresiones retinianas se transmitían luego a la corteza visual, que servía para analizar los códigos contenidos en la imagen, siendo este proceso de decodificación, el que desembocaba en visión (Sanchez 1995; Zeki 1992).

Por otro lado, la comprensión de lo que se estaba viendo, es decir, la atribución de significado a las impresiones recibidas y su resolución en objetos visuales, era considerada un proceso aparte, surgido de la asociación de las impresiones recibidas con otras similares experimentadas con anterioridad. Esta forma de entender el funcionamiento del cerebro creaba una separación entre visión y entendimiento, entre sentir (la visión) y percibir (comprensión y significado), y daba a cada una de estas facultades distintas sedes en el cerebro. Sin embargo, posteriormente, el descubrimiento de los sistemas paralelos que actúan en la visión permitió concluir que, aunque tienen autonomía, están interrelacionados de tal forma que integran la información visual, de modo que simultáneamente se dan la percepción y la comprensión (Zeki, 1992). Algunas investigaciones posteriores (Zeki and Shipp, 1988) sobre la corteza de asociación visual han mostrado que consta de muchas áreas diferentes. Estas regiones se hallan individualmente especializadas para realizar diferentes tareas, lo que supuso un giro en la forma de entender la construcción de la imagen visual por el cerebro. Esto quiere decir que al observar una imagen, distintas áreas de la corteza la analizan, buscando en ella diferentes atributos, como forma, color y movimiento. De este modo, “visión” y “comprensión” se producen simultáneamente, debido al sincronismo de actividades en dichas áreas corticales. Por tanto, el mundo que vemos es invención del cerebro visual (Zeki, 1992). Sobre la formación de la imagen visual en la mente y en el cerebro, los autores (Zeki and Shipp 1988) consideran que la tarea del cerebro consiste en extraer las características constantes e invariantes de

los objetos a partir de la información que sobre ellos recibe. Por tanto, para adquirir su conocimiento de qué es lo visible, el cerebro no puede limitarse al mero análisis de las imágenes que le son presentadas a la retina; ha de construir activamente un mundo visual. Cric and Koch (1992) señalan que “ver” es un proceso constructivo, un proceso en el que el cerebro tiene que efectuar complejas actividades para decidir qué interpretación del ambiguo estímulo visual es la que adopta. Es decir, el cerebro actúa para formar una representación simbólica del universo visual.

En las dos últimas décadas se han llevado a cabo muchos descubrimientos sobre el cerebro visual. Ya no cabe separar los procesos de visión y de comprensión. Sánchez (1995) concluye que para ver, comprender, reconocer un rostro familiar, adquirir conocimientos, el cerebro, la mente, precisa construir representaciones simbólicas del mundo que contempla. La psicología ha acuñado diversos conceptos para referirse a estas representaciones mentales: esquemas, prototipos, regiones y ha tratado de explicar cómo representamos los conocimientos que poseemos.

### Planteamiento del razonamiento

Teniendo en cuenta los referentes descritos en la sección anterior, y dado que el proceso de visualización y el de conceptualización tienen muchas características comunes (en ambos lo que se hace es abstraer las características constantes ya sea de los “objetos”, ya de los “objetos o acontecimientos” y construir ya sea un mundo visual (Zeki 1992) o una estructura cognitiva (Ausubel 2000), se trataría de extrapolar lo que se conoce del proceso cerebral de visualización al proceso cerebral de conceptualización. Algunos autores definen la conceptualización como una perspectiva abstracta y simplificada del conocimiento que tenemos del mundo, y que queremos representar. Esta representación es nuestro conocimiento del mundo, en el cual cada concepto es expresado en términos de relaciones verbales con otros conceptos y con sus ejemplos del mundo real (relaciones de atributo, no necesariamente jerárquicas), y también con relaciones jerárquicas (la categorización, o asignación del objeto a una o más categorías) múltiples. Conceptualizar, por lo tanto, puede ser considerado como “*el desarrollo o construcción de ideas abstractas a partir de la experiencia: nuestra comprensión consciente del mundo*” (Rivas 2000). Concretemos las siguientes consideraciones de partida que pretendemos poner de manifiesto en este trabajo:

- El cerebro cuando visualiza (cuando crea imágenes visuales) actúa de forma muy similar a cuando conceptualiza.
- Debido a su constitución fisiológica, el cerebro cuando visualiza lo hace buscando el significado de la información visual que recibe.
- Es altamente probable que el cerebro, debido a su constitución fisiológica, cuando conceptualiza lo haga buscando el significado de la información que recibe.

El razonamiento en el que se basa nuestra afirmación consta de dos partes: La primera consiste en aceptar que durante los procesos de visualización y de conceptualización el cerebro hace una función muy similar. La segunda es poner de manifiesto en este trabajo que, debido a su constitución fisiológica, el cerebro, cuando visualiza, lo hace buscando el significado de la información visual que recibe. Si conseguimos ambos propósitos la conclusión es evidente: Si el cerebro funciona de manera muy similar cuando visualiza y cuando conceptualiza y ponemos de manifiesto que cuando visualiza lo que hace es buscar el significado de la información que le llega, concluimos que el cerebro, cuando conceptualiza lo que hace es buscar el significado de la información que recibe y por tanto, se podría considerar que el aprendizaje significativo no es un paradigma pedagógico más, sino que puede estar relacionado con la forma en que fisiológicamente funciona nuestro cerebro.

Como se ha señalado en la revisión bibliográfica de la sección anterior, nuestro cerebro almacena las diferentes características de las imágenes visuales en zonas separadas, pero luego las coordina todas ellas para obtener una visión coherente del mundo, es decir relaciona entre sí dichas características hasta darle un significado creando así sus imágenes visuales (Zeki 1992).

A modo de ejemplo realicemos una pequeña actividad, en primer lugar pensemos en nuestra imagen de silla, y posteriormente pensemos en nuestro concepto de silla, ¿no estamos haciendo lo mismo? En ambos casos (proceso de visualización (Zeki 1992) y proceso de conceptualización (Cuevas 2002) estamos abstrayendo las características constantes que tienen “todas” las sillas. Tal y como han analizado ampliamente autores como Ausubel, podemos abstraer sus atributos, propiedades o características comunes, que los hacen semejantes entre sí, formando una categoría representada

mentalmente por un concepto y denotada con una misma palabra (Cuevas 2002). Asimismo, innumerables conjuntos de objetos, como el formado por sillas de madera, sillas de plástico, sillas en nuestros despachos de la Facultad o en nuestras casas, con asientos rectangulares o redondas, grandes o pequeñas, todas las existentes en el mundo, pertenecen o son miembros de la misma categoría, representada mentalmente con el mismo concepto “silla” y denotadas con la misma palabra: silla. Si ha realizado esta pequeña actividad y ha pensado tanto en la imagen de silla como en el concepto silla, plantéese la siguiente cuestión ¿no cree que el cerebro actúa de manera muy similar cuando visualiza y cuando conceptualiza? Si ha llegado a la conclusión que es muy posible que así sea, podremos extrapolar lo que sabemos respecto a la fisiología de la visualización (que es mucho) al ámbito de la conceptualización (del que sabemos muy poco). En las siguientes secciones vamos a poner de manifiesto que cuando el cerebro visualiza lo hace buscando el significado de la información que recibe a través de la retina, pudiéndose generalizar a la conceptualización y sacar la conclusión consecuente.

### Justificación 1: Nuestra visión es significativa

Consideremos el siguiente ejemplo utilizando la figura ilusoria del pato y el conejo de Jatrow (1899) (Peterson et al. 1992). Si le preguntásemos ¿Qué ve usted en la figura 1? Podrá comprobar que está buscando en su “base de datos” de imágenes visuales para ver con cuál de ellas puede relacionar la que está viendo. El resultado es que hay dos posibilidades, puede relacionarla con un pato mirando hacia un lado o con un conejo mirando hacia el otro. El proceso ha consistido en relacionar lo que estamos viendo (lo que estamos aprendiendo) con lo que ya existe en nuestro cerebro (con lo que ya sabemos). Es decir exactamente igual a como se establece en la teoría del aprendizaje significativo (Ausubel 2002).

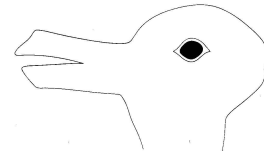


Figura 1. Imagen del pato y el conejo de Jatrow

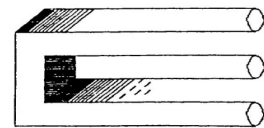


Figura 2. Ejemplo de blivet u objeto imposible (Book 2010)

Observe ahora la imagen de la figura 2, ¿podría describirla?, ¿no puede?, ¿qué está sucediendo en su cerebro?, podrá comprobar que su cerebro no es capaz de encontrar una imagen visual que tenga en su memoria con la cual poder asociar la que está viendo. Es decir, no es capaz de encontrar ningún significado para ella (exactamente igual que con frecuencia le ocurre a nuestros alumnos cuando estamos pretendiendo que aprenda algún concepto). Esta imagen tiene 2 ramales (de sección rectangular) en un lado y tres (de sección circular) por el otro, sin que se aprecie ninguna bifurcación de ninguna de las dos. Esta imagen no tiene “significatividad lógica” (Ausubel 2000), esta situación no tiene precedente en nuestro cerebro con el que poder relacionar la información visual que está recibiendo. Por esta razón, si tuviéramos mucho interés en recordar dicha imagen, no nos quedaría más remedio que “memorizarla” parte a parte, segmento a segmento, y en poco tiempo desaparecería de nuestra memoria. Podemos relacionar lo que nos ocurre en la visualización de esta figura 3 con la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel, que señala que es necesario se dé una “Significatividad lógica del material”, es decir, que el material presentado tenga una estructura interna organizada, que sea susceptible de dar lugar a la construcción de significados. Hagamos una prueba: intentemos reproducir la imagen de la figura 1 y la de la figura 2, sin demasiado esfuerzo usted podrá reproducir una imagen similar a la que vio en la primera, pero sentirá un gran desasosiego al intentar reproducir la de la segunda, eso es debido a que a la primera figura le encontró el significado y ahora es dicho significado lo que pretende reproducir, pero a la segunda, al no haberle encontrado el significado, no sabe



cuáles son sus características realmente relevantes que no deben faltar en el dibujo que usted debe hacer.

Fijémonos ahora en el dibujo de la figura 3, extraído del libro “Física recreativa” (Perelman 1913). Si nos fijamos atentamente podemos comprobar que cambia la percepción del mismo y que se alterna entre ver un cubo situado sobre 3 cubos (uno de los cuales no lo ve por estar oculto por los otros) a ver un cubo por debajo de otros 3 cubos (uno de los cuales no lo ve por estar oculto por los otros).

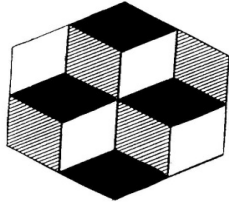


Figura 3. Cubos (Perelman 1913)

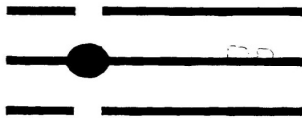


Figura 4. Ejemplo de recomposición de imagen. Esta ilusión óptica ideada por Vilayanur S. Ramachandran ilustra la capacidad del cerebro para suministrar, completar o construir la información visual que falta porque cae en el punto ciego del ojo (Seckel 2002).

Esta figura pone de manifiesto que, en ocasiones, una misma información puede ser interpretada por nuestro cerebro de diferentes formas y asociada a diferentes conocimientos previos ya existente en la “estructura visual” del individuo. Consideremos el ejemplo de la figura 4 (Seckel 2002). Esta imagen hay que mirarla con un solo ojo (tapándose el otro) situado enfrente del punto negro y desviando la mirada hacia los cuadraditos de la derecha. Llegará un momento en que las líneas superiores e inferiores se verán continuas sin apreciarse las discontinuidades que tienen.

El cerebro está tan acostumbrado a trabajar con la información que recibe de la retina que “sabe” que en ella existe una zona en la que no hay fotorreceptores (punto ciego) y que si desde esa zona de la retina no recibe información esperada por la “lógica” de la imagen total, lo más frecuente es que se deba a dicha falta de fotorreceptores y no a que no esté llegando a ella dicha información visual. En consecuencia, “recompone” la imagen incluyendo la información visual que no le llega pero que “sospecha” que sí existe.

#### Justificación 2: La lectura también es significativa

Podemos continuar nuestro razonamiento pasando a una aplicación de la visión tan cotidiana como es la lectura, de especial relevancia en la enseñanza de las ciencias (Orlik, 2015). Podríamos plantearnos cómo es el proceso de comprensión de un texto escrito. ¿Cómo actúa nuestro cerebro cuando lee? Si nos fijamos en la imagen de la figura 5, comprobaremos que podemos leerlas hasta el final a pesar que en las 3 filas de abajo no aparece más que la mitad de cada letra, y que incluso algunas de ellas están equivocadas. Del mismo modo, en la figura 6, las letras de las palabras aparecen desordenadas.

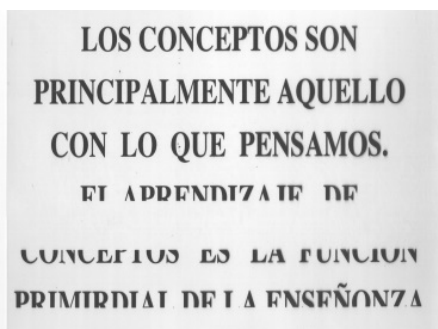


Figura 5. Ejemplo de texto incompleto

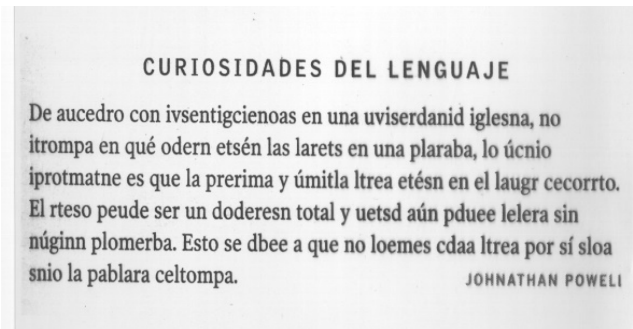


Figura 6. Curiosidades del lenguaje

Nuestro cerebro está recibiendo suficiente información visual como para poder encontrar el significado de la frase que es lo que realmente le interesa. Es más, si intentamos leer la cuarta y la quinta fila (figura 5), comprobaremos que leemos mejor la cuarta. Esto es debido a que al aparecer la mitad de arriba de las letras las reconocemos mejor porque leemos de arriba abajo, nuestra vista comienza por recorrer la forma de la zona superior de las letras y cuando las reconoce (cuando encuentra su significado) pasa a la siguiente sin acabar de verlas entera y esto origina que nos sea más familiar la mitad de arriba de las letras que la mitad de abajo. Realmente no leemos letra a letra, como lo que nos interesa es el significado miramos varias letras (incluso palabras) a la vez y cuando encontramos el significado pasamos a las siguientes. Esta es la razón por la que los periódicos se escriben en columnas de filas cortas. El ancho de dichas filas es adecuado para que podamos encontrar su significado de un solo vistazo. Es decir, leemos mirando toda una fila de golpe, obteniendo su significado y pasando a la siguiente. Ni leemos todas las letras (por eso para buscar erratas en un escrito es muy conveniente que lo haga una persona diferente al autor del mismo que puede pasar varias veces por una de ellas y “leer” lo que quiso escribir sin apreciar la errata), ni las vemos enteras, captamos la información necesaria para obtener el significado (que es lo que realmente nos interesa) y seguimos adelante. Siempre que nuestro cerebro reciba la información mínima necesaria, su labor se centrará en buscar el significado de lo escrito y con ello podrá culminar con éxito su tarea.

Otro ejemplo que pone claramente de manifiesto que cuando visualizamos lo que hacemos es buscar el significado de la información que nos llega a nuestra retina y, de ella, a nuestro cerebro es el de los estereogramas (NE Thing Enterprises 1993). Estos dibujos contienen una información visual que inicialmente no es significativa para nuestro cerebro, pero si nos esforzamos en ello y aplicamos la técnica conveniente (mirar como a un punto situado unos centímetros por detrás del papel, dejar la vista relajada para que se pueda trabar, tener paciencia y no sufrir distracciones) pasado un cierto tiempo veremos revelarse una imagen oculta.

#### CONCLUSIONES

Si al comienzo de la lectura de este trabajo usted tuvo a bien aceptar que el proceso cerebral de la conceptualización es muy parecido al de la visualización, al haber puesto de manifiesto que, debido a su constitución fisiológica, durante este último la función de nuestro cerebro es buscar el significado de la información visual que le llega, deberá concluir que, debido a su constitución fisiológica, también cuando conceptualiza, la misión del cerebro es buscar el significado de la información que le llega y que la teoría del Aprendizaje Significativo no es el paradigma pedagógico del momento actual, sino que nuestro cerebro está constituido fisiológicamente de manera que su función cuando forma conceptos es buscar el significado de la información que recibe. Esta conclusión tiene gran trascendencia porque supone una motivación fundamental para nuestros alumnos de ciencias durante el estudio de la Teoría Constructivista del Aprendizaje.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Abell, S.K. & Lederman, N. G. Handbook on Research on Science Education. New York: Routledge, 2007.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. Educational psychology: A cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

- Ausubel, D. P. The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Book, LLC. Impossible Objects: Illusions, Impossible Object, Penrose Triangle, Necker Cube, M. C. Escher, Blivet, Tactile Illusion. Ed. General Books, 2010
- Campos, M. A. and Gaspar, S. La construcción del constructivismo en investigación cognoscitiva, *Siglo XXI Perspectivas Latinoamericanas*, vol. 2(4), 31-43, 1996
- Crick, F., & Koch, C. The problem of consciousness. *Scientific American*, 267(3), 153-159, 1992.
- Cueva Wiliam. Teorías Psicológicas. Trujillo: Gráfica Norte, 2002.
- Gerald M. Edelman. The Remembered Present: A Biological Theory of Consciousness. New York: Basic Books, 1990
- Gil-Pérez et al. Defending constructivism in science education. *Science & Education*, 11(6), 557-571, 2002.
- Jastrow, J. The mind's eye. *Popular Science Monthly*, 54, 299-312, 1899.
- Martinez-Borreguero, G et al. Detection of misconceptions about colour and an experimentally tested proposal to combat them. *International Journal of Science Education*, 35(8), 1299-1324, 2013.
- Mathews, M. R. Introductory Comments on Philosophy and Constructivism in Science Education, *Science & Education*, 6, 5-14, 1997.
- NE Thing Enterprises. The Magic Eye, Volume I: A New Way of Looking at the World. Kansas City: Andrews McMeel Publishing, 1993.
- Niaz, M., et al. Constructivism: Defense or a Continual Critical Appraisal A Response to Gil-Pérez et al. *Science & Education*, 12(8), 787-797, 2003
- Novak, J. D., and Gowin, D.B. Learning how to learn. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- Orlik, Y. Improving education: reading books and science education. *Journal of Science Education*, 16(2), 41-43, 2015
- Peterson, M. A., Kihlstrom, J. F., Rose, P. M., and Glisky, M. L. Mental images can be ambiguous: Reconstruals and reference-frame reversals. *Memory & Cognition*, 20(2), 107-123, 1992.
- Piaget, J. The psychology of intelligence. Totowa, N.J. : Littlefield, Adams & Co., 1966.
- Piaget, J. The equilibration of cognitive structures: the central problem of intellectual development. (T. Brown & K. J. Thampy). Chicago: University of Chicago Press, 1985
- Rivas Navarro, M. Procesos Cognitivos y Aprendizaje Significativo. *Inspección de Educación. Documentos de Trabajo*, 19 Madrid, 2000
- Sánchez Cánovas, J. La Inteligencia Humana. Valencia: Anales, 1995.
- Seckel, A. The Art of Optical Illusions. London: Carlton Books, 2002
- Tünnermann Bernheim, C. El constructivismo y el aprendizaje de los estudiantes. *Universidades*, vol. LXI, núm. 48, pp. 21-32, México, 2011
- Vilches, A. & Gil-Pérez, D. The Supremacy of the Constructivist Approach in the Field of Physics Education: Myths and Real Challenges. *Tréma*, 38, 87-104, 2012.
- Vygotsky, L. S. Thought and language. Cambridge: MIT press, 2012.
- Yákov Perelmán, Physics for entertainment. Moscow: Mir, 1913.
- Zeki, S. The visual image in mind and brain. *Scientific American*, 267 (3), 68-76, 1992
- Zeki, S. and Shipp, The Functional Logic of Cortical Connections. *Nature*, Vol. 335(6188), 311-317, 1988

Received 23-11-2015 /Approved 30-11-2016

## The role of imagery in physics teaching: a focus on dual coding theory

### El papel de las imágenes en la enseñanza de la física: un enfoque en la teoría de la codificación dual

FERNANDO TEMPORINI FREDERICO, DULCINEIA ESTER PAGANI GIANOTTO

Programa de pós-graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Universidade Estadual de Maringá, Brazil, ftfrederico@gmail.com, depgianoto@uem.br.

#### Abstract

This article is based on data obtained in a doctoral research in science education that aimed to investigate the possible contribution of imagery to the teaching of wave and study of light in high school. With a qualitative approach to interpretation, and having the Dual Coding Theory by Paivio coding as the main theoretical framework, it sought through some data collection tools to analyze how the imagery can contribute to the learning of such physical concepts. Based on the analysis of the evidence, it can be considered that such resources are able to contribute significantly to the learning of physical concepts.

**Key words:** physical teaching, dual coding theory, imagery.

#### Resumen

Este artículo se basa en los datos obtenidos en una investigación en la educación científica que tuvo como objetivo investigar la posible contribución de las imágenes de la ola de la enseñanza y el estudio de la luz en la escuela secundaria. Con un enfoque cualitativo a la interpretación, y que tiene la teoría de doble codificación de Paivio como el principal marco teórico, se buscó como las imágenes pueden contribuir a la formación de tales conceptos físicos. Con base en el análisis de las pruebas, se puede considerar que estos recursos son capaces de contribuir significativamente al aprendizaje de conceptos físicos.

**Palabras clave:** enseñanza de la física, teoría de la codificación dual, imágenes.

#### INTRODUCTION

Teachers of science (biology, physics and chemistry) as well as of other areas of knowledge, may, during the oral approach of some concepts and knowledge, face difficulties as to the way to discuss such knowledge due to the abstract nature of the subject. Facing this situation, teachers seek to address the abstraction using media and technology and other teaching resources. Some of these methods may be associated with the use and display of images, both static (photographs, drawings, diagrams) or moving (videos, simulations).

Thus, this work seeks to answer the following question: how are images able to contribute to the learning of physical concepts? Do they offer an advantage over the use of words?

To try to answer these and other questions, we sought answers on Dual Coding Theory (DCT) by Allan Paivio (2014), which among other factors, shows that the verbal and non-verbal representations are directly connected, in order to allow us to create images when we hear certain words and generate concepts and descriptions when we visualize images.

#### Dual Coding Theory

DCT proposed by Paivio (2014) discusses the idea that cognition involves the cooperative activity of two mental systems operating independently, but maintains links. One is a nonverbal system specialized in dealing with non-linguistic objects and events and the other is a verbal system, whose specialty is to deal directly with language.

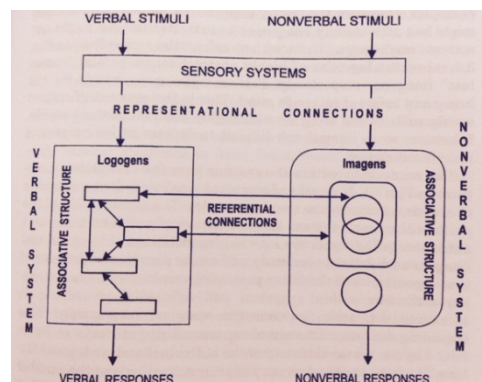


Figure 1-Structural Units of DCT, Sadoski, Paivio (2001)