

# NEUROCIENCIAS EN ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE: APORTES FUNDAMENTALES AL PROCESO DE ENSEÑAJE

**Daniel Moraga Muñoz y Claudio Díaz Larenas \***  
Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile

## Resumen

Este artículo tiene como propósito conceptualizar la enseñanza y el aprendizaje como dos procesos que han evolucionado en el tiempo y que, a su vez, han sido enriquecidos por los diferentes enfoques curriculares. Ambos, examinados a la luz de las Neurociencias, ocurren en un espacio común denominado enseñanza. Este concepto da cuenta de una interfase dialógica entre los mundos cognitivos del educador y del educando. Todo parece indicar que el conocimiento pre-existente de ambos sujetos desempeña un rol clave en la comunicación didáctica. En este contexto, las Neurociencias se han convertido en un espacio investigativo que ha permitido vislumbrar posibles respuestas sobre lo que ocurre tanto con el educador como con el educando durante el proceso de enseñanza. En este sentido, los estudios del funcionamiento del cerebro continúan entregando posibles respuestas que nos permiten, al menos, reflexionar acerca de nuestra praxis pedagógica.

**Palabras claves:** neurociencias, enseñanza, aprendizaje, enseñanza, sistema nervioso central, cognición, memoria.

## **Neurosciences, teaching and learning: main contributions of Neurosciences to the process of enseñanza**

### Abstract

This article aims at defining the concepts of teaching and learning as two processes that have evolved through time and that have been enriched by different curriculum approaches. Both teaching and learning- seen from the field of Neurosciences- take place in a common space called enseñanza. This concept accounts for a dialogic inter-phase between the teacher and the student's cognitive worlds. All indicates that background knowledge plays a key role in didactic communication. In this context, Neurosciences have become an investigative space that has attempted to provide answers about what happens to both teachers and students during the teaching-learning process. In this respect, studies on the brain functioning field keep on providing possible answers that, at least, let us reflect on our pedagogical practices.

**Key words:** Neuroscience, teaching, learning, enseñanza, central nervous system, cognition, memory

---

*\* Daniel Moraga M. es Licenciado y Doctor en Ciencias con mención en Biología en la Universidad de Chile, Chile 1994; Diplomado en Pedagogía Universitaria de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile 2002, alumno del programa de Magíster en Pedagogía Universitaria de la Universidad Católica de la Santísima Concepción y académico de la asignatura de Fisiología y Fisiopatología en la Facultad de Medicina de la Universidad Católica de la Santísima Concepción; Claudio Díaz L. es Profesor de Inglés; Magíster en Artes con mención en Lingüística de la Universidad de Concepción, alumno del programa de Doctorado en Educación de la Universidad de Concepción, docente Coordinador del Área de Lenguas de la Facultad de Educación de la Universidad Católica de la Santísima Concepción y responsable de la dirección del proyecto MECESUP "Inglés como lengua extranjera en el pre-grado: innovación de la enseñanza-aprendizaje y mejoramiento de la competencia comunicativa en la Universidad Católica de la Santísima Concepción".*

---

## 1. ENSEÑANZA: APROXIMACIONES CONCEPTUALES

El medio exterior nos ofrece continuamente situaciones-estímulo positivas que percibidas, asimiladas y reelaboradas por nuestro complejo sistema sensitivo cerebral pueden alterar, paulatinamente, nuestras ideas, sentimientos y acciones en términos educativos. Pero ese mismo ambiente puede también presentarnos situaciones-estímulos negativas que se transforman dentro de nosotros en experiencias "deseducativas", las cuales nos llevan a formular falsas ideas o a actuar en forma poco constructiva. Esas experiencias, educativas o no, pueden provenir de las personas más diversas y de las situaciones más variadas. Una conversación, un libro, una película, una obra de teatro, una noticia en la prensa, una carta o un programa de televisión pueden tener ese poder de afectarnos, de modificarnos. Sin embargo, como la sociedad desea que aprendamos ciertas ideas y que estructuremos determinadas actitudes para desempeñar bien nuestros papeles en los diversos grupos o los que pertenecemos -familiar, profesional, religioso, político, social- surge entonces la enseñanza, es decir, el esfuerzo educativo deliberado, consciente y sistematizado. Es tradicional, pues, distinguir la educación sistemática de la educación asistemática; la enseñanza está relacionada con la primera categoría, o sea, con las experiencias adquiridas sistemáticamente.

Al preguntar qué se entiende por enseñanza, invariablemente se escuchará 'enseñar es transmitir conocimientos'. Esta idea implica que quien aprende representa en el proceso un papel pasivo de simple receptáculo. En otras palabras, la mente humana es una hoja en blanco, en la cual se puede grabar lo que se desea. Ésta ha sido la visión convencional de la enseñanza que aún persiste ya no en la doctrina, pero sí en la práctica. En esta concepción la función de la escuela y del profesor es la de transmisor de un conocimiento acumulado en la forma de estructuración disciplinar.

Cuando se divulgaron los trabajos de los fisiólogos en el campo de los reflejos condicionados, la enseñanza fue considerada como una técnica capaz de formar una serie de condicionamientos, una cadena de reflejos condicionados. De ahí la expresión "enseñar es formar hábitos". En la concepción tecnológica, se supone que ésta debe facilitar la integración del hombre en la sociedad a través de la capacitación para el trabajo. En la escuela no importa el contenido, y tampoco el contexto, porque las capacidades hacen al hombre "capaz" de adaptarse y de solucionar cualquier situación. La tarea de enseñanza se encuentra precisamente en la dirección cuidadosamente planificada y eficazmente evaluada de los procesos de aprendizaje que conducen a los fines previstos. Esta concepción postula que "enseñar es dirigir técnicamente el aprendizaje"<sup>1</sup>. Se pone de relieve el hecho de que el proceso de enseñar tiene como fin obligatorio el aprender. Si se enseña, pero el alumno no aprende, no ha habido realmente enseñanza. Entonces se hace necesario reformular la técnica, utilizar otros medios.

Posteriormente, los aportes de la "enseñanza no directiva" de Carl Rogers (1982-1987) se oponen al término "dirigir". De esta manera, surge la idea de que la enseñanza debe orientar el aprendizaje. Con ello se define a la enseñanza como el arte y la técnica de optimizar las condiciones del desarrollo integral del sujeto. La enseñanza no sólo debe alcanzar resultados parciales como conocimientos y habilidades, sino que también debe convertirse en un medio para ayudar al desarrollo humano a través de la intervención del ambiente, y la organización del medio y los

---

1.- Zabalza, M. (1997). Diseño y desarrollo curricular. Madrid: Narcea.

instrumentos que faciliten las experiencias de aprendizaje.

Para la concepción constructivista, en cambio, la enseñanza persigue la producción de cambios conceptuales. Esta visión considera al alumno como un activo procesador de información que es capaz de percibir, codificar, asimilar y transformar la información de su entorno a través de un proceso de creación y transformación de sus esquemas mentales. Esta concepción otorga al estudiante un rol fundamental, puesto que se considera importante lo que cree, lo que supone, y lo que es capaz de pensar y comprender; es decir, su conocimiento previo.

En la visión ecológica, en tanto, el concepto de enseñanza se concibe como la articulación de la experiencia extra e intraescolar, o sea, una enseñanza que desborda la propia aula, que conecta escuela-territorio, dinámica social y dinámica pedagógica. Se enfatiza, por cierto, los aspectos ambientales en los que tienen lugar la producción de significado y la relación del aula con la escuela, y de ésta con el contexto social y cultural, de manera que pueda ser un referente constante en los procesos pedagógicos.

Desde la perspectiva crítica, la enseñanza se concibe como una tarea particular de la escuela cuyas funciones educativas son compensar, en parte, los efectos de la desigualdad social que imponen las clases sociales dominantes y facilitar la reconstrucción de las pautas de conducta que los estudiantes asimilan en forma acrítica en las prácticas sociales de su vida previa y paralelas a la escuela. En este sentido, la enseñanza supone un proceso de interacción, y comunicación personal y social cuyo fin último es la reflexión<sup>2</sup>.

## 2. EL APRENDIZAJE COMO FENÓMENO HUMANO

Existen diversas definiciones de aprendizaje, ya sea éste concebido como un proceso de cambios más o menos permanentes producto de la ejercitación o como un "proceso mediante el cual un sujeto adquiere destrezas o habitualmente prácticas, incorpora contenidos informativos o adopta nuevas estrategias de conocimientos o de acción"<sup>3</sup>.

Sin duda, el aprendizaje implica una adquisición de algo novedoso, por lo tanto, resulta ser una modificación de lo ya adquirido previamente. El aprendizaje genera angustia, resistencia y temor ante lo desconocido, lo cual explicaría algunas de las dificultades que tiene el alumno para aprender. Hay ciertas barreras y obstáculos en el aprendizaje, como lo son las disociaciones entre la teoría y la práctica, y entre sujeto y objeto que es necesario superar. En este sentido, Coloma (1995)<sup>4</sup> distingue dos miedos básicos:

- el miedo al ataque, que surge cuando el sujeto se enfrenta ante una situación u objeto de conocimiento nuevo, sin una preparación pertinente y donde el campo se percibe como peligroso dada la dificultad para abordarlo adecuadamente y (2)
- el miedo a la pérdida, ligado a la inseguridad que se siente cuando se debe abandonar los conocimientos previamente adquiridos que ya no sirven en el campo actual.

---

2.- Saéz, Ó. (1994). *Didáctica general*. Un enfoque curricular. Madrid: Marfil.

3.- Coloma, C. y Tafur R. (2000). Sobre los estilos de enseñanza y de aprendizaje, *Revista de Educación*, Pontificia Universidad Católica del Perú. Marzo. Vol. IX. N 17.

4.- Coloma, C. (1995). ¿Aprendiendo con sentido o aprendizaje significativo? *Revista de Educación*, Pontificia Universidad Católica del Perú. Marzo. Vol. IV. N 7.

---

No obstante, aunque la ansiedad es indispensable para aprender, existe un nivel de ansiedad óptimo que permite que el aprendizaje ocurra. El nivel óptimo es aquel en que la ansiedad funciona como señal de alarma. La ansiedad extrema genera confusión y falta de distancia, en tanto que la carencia absoluta de ansiedad conlleva a la defensa omnipotente del que 'ya se sabe todo', por lo tanto, la persona no siente que tiene que aprender.

Para Coloma (1995)<sup>5</sup>, "el aprendizaje es un proceso de desarrollo de 'insights', de conocer y comprender el significado. Por ello, cuando se tiene una duda o una vacilación, no se ha comprendido plenamente; por lo tanto, no se ha aprendido. El aprendizaje implica no sólo la captación de un contenido, sino el compromiso emocional del aprendiz, porque responde a una necesidad personal y se guía, por lo tanto, de motivaciones intrínsecas".

De acuerdo a lo anterior, el aprendizaje es significativo cuando el contenido es incorporado al conjunto de conocimientos de un individuo, o cuando se establecen relaciones entre la nueva información con los conocimientos y las experiencias existentes en el alumno. En este sentido, el éxito del aprendizaje depende de la aplicación y activación del conocimiento relevante preexistente. Esto implica un diálogo permanente entre los nuevos conocimientos y los saberes ya adquiridos del sujeto que aprende. Este modo de actuar incluye un uso permanente de la crítica que permite establecer un vínculo efectivo entre el conocimiento y la experiencia, lo que recientemente en las ciencias cognoscitivas se llama 'reflexión de mente abierta'-expresión acuñada por Coloma en 1995. Este tipo de reflexión permite cortar la cadena de patrones de pensamiento habituales y las preconcepciones, para así abrirse a otras posibilidades distintas a las tradicionales.

El aprendizaje significativo es, entonces, un proceso activo y personal, porque depende de la asimilación deliberada de cada alumno. La clave está, como ya se señaló anteriormente, en relacionar el nuevo material con las ideas ya existentes en la estructura cognitiva del alumno y en integrar lo afectivo con lo intelectual; por consiguiente, la eficacia del aprendizaje está en función de su significancia y no en la memorización.

Por lo tanto, el aprendizaje implica un proceso de construcción de saberes culturales que es propio del sujeto que aprende y que corresponde al funcionamiento psicológico de cada individuo a la vez que le permite su desarrollo personal y social. Otorga al sujeto autonomía y la posibilidad de afrontar nuevas situaciones en forma activa, crítica y creativa, pues en cada acción educativa, no sólo se aprenden contenidos conceptuales, sino también valores, normas, actitudes, estrategias y procedimientos que le permiten al estudiante observar y explorar la realidad en una dimensión más amplia.<sup>6</sup>

El aprendizaje tiene que tener un sentido no sólo lógico y de contenido, sino que debe tener sentido psicológico, que es el que prevalece sobre el sentido lógico. De esta manera, la nueva información se incorpora de forma sustantiva no arbitraria a la estructura cognitiva del alumno. La perspectiva significativa del aprendizaje hace que la adquisición sea más fácil y rápida que en el caso de un enfoque repetitivo, porque fundamentalmente esto implica la utilización de estructuras y elementos

---

5.- Ibid. p. 64

6.- Coloma, C. (1995). ¿Aprendiendo con sentido o aprendizaje significativo?. *Revista de Educación Pontificia Universidad Católica del Perú*. Marzo. Vol. IV. N 7.

previamente adquiridos que funcionan como "anclas" respecto al nuevo material. Sin embargo, es necesario reconocer que no todo aprendizaje receptivo es pasivo así como no todo aprendizaje por descubrimiento es significativo.

El aprendizaje receptivo también puede ser activo, porque hay un proceso de adquisición que no es un simple catalogar conceptos ya anclados dentro de la estructura cognitiva existente. El aprendizaje receptivo activo dependerá, en parte, de la necesidad del alumno de alcanzar significados integrados y de su facultad de autocrítica o de integración de los nuevos conocimientos a los anteriores.

El eje fundamental del aprendizaje significativo es el propio estudiante, quien debe aprender a situarse en su realidad y desde ahí aprender a transformarla y mejorarla. Para esto, se requiere de un tipo de análisis cognoscitivo que permita averiguar cuáles son los aspectos relevantes de la estructura cognoscitiva del alumno, es decir, si existe cierto grado de reconciliación entre las ideas existentes en la estructura cognoscitiva y la posibilidad de reformular el material de aprendizaje en términos de los antecedentes intelectuales.

Al aprendizaje se le puede considerar como un proceso de naturaleza extremadamente compleja caracterizado por la adquisición de un nuevo conocimiento, habilidad o capacidad. No obstante, para que tal proceso pueda ser considerado realmente como aprendizaje, en lugar de una simple huella o retención pasajera, debe ser susceptible de manifestarse en un tiempo futuro y de contribuir, además, a la solución de situaciones concretas, incluso diferentes en su esencia a las que motivaron inicialmente el desarrollo del conocimiento, habilidad o capacidad.

El aprendizaje, si bien es un proceso, también es un producto, por cuanto son, precisamente, los productos los que verifican, de manera concreta, los procesos. Aprender, para algunos, no es más que concretar un proceso activo de construcción que lleva a cabo el sujeto en su interior.

Asimismo, por muy relevante que sea en sí mismo un aprendizaje, es necesario que el sujeto lo trabaje, lo construya y, al mismo tiempo, le asigne un determinado grado de significación subjetiva para que se concrete en un aprendizaje significativo; en otras palabras, para que se produzca una real asimilación, adquisición y retención del conocimiento.

El aprendizaje es, igualmente, el producto o fruto de una interacción social y desde este punto de vista es, intrínsecamente, un proceso social, tanto por sus contenidos como por las formas en que se genera. El sujeto aprende de los otros y con los otros. En esa interacción desarrolla su inteligencia práctica y la de tipo reflexivo, al construir e internalizar nuevos conocimientos o representaciones mentales a lo largo de toda su vida. El aprendizaje, por su naturaleza, no puede ser reducido, y mucho menos explicarse, a través de los planteamientos de las llamadas corrientes conductistas o asociacionistas ni de las cognitivas. Éste no puede ser concebido como un proceso de simple asociación mecánica entre los estímulos aplicados y las respuestas provocadas por éstos, determinadas tan sólo por las condiciones externas imperantes, ignorándose todas aquellas intervenciones mediadoras de las numerosas variables inherentes a la estructura cognitiva interna del sistema nervioso central del sujeto que aprende.

No es simplemente la conexión entre el estímulo y la respuesta condicionada -el hábito- lo que genera el aprendizaje. Éste es, además, producto de la interacción del propio individuo con su entorno físico, químico, biológico y, de manera

particularmente importante, con su entorno social. El aprendizaje no es sólo una mera consecuencia de los estímulos ambientales, sino que también es el fruto de un sustrato material neuronal que resulta precondicionado por factores tales como el estado emocional y los intereses o motivaciones particulares. Es necesario insistir, una vez más, en que el aprendizaje es una consecuencia de la interacción sujeto-entorno, en un tiempo y en un espacio concretos. En otras palabras, la cognición es una condición y consecuencia del aprendizaje.

En el aprendizaje humano, la interpretación holística y sistémica de los factores conductuales y la justa ponderación de las variables internas del sujeto como portadoras de significación, resultan incuestionablemente importantes. De aquí la necesidad de tomar en consideración estos aspectos a la hora de desarrollar procedimientos de enseñanza.

En consecuencia, en este artículo se rescata de las definiciones previamente discutidas, el concepto de enseñanza que apunta a la percepción, codificación, asimilación y transformación del estímulo externo positivo mediante un proceso de creación de esquemas mentales, y se le otorga especial importancia al conocimiento previo que tiene el aprendiente. Esta concepción de enseñanza está estrechamente relacionada con la idea de proceso de aprendizaje que implica la activación del conocimiento pre-existente relevante. Aquí estamos en presencia de una interfase de interacción entre información previamente adquirida y los datos informacionales nuevos.

Lo anterior permite fusionar los procesos de enseñanza y aprendizaje en el concepto de "enseñaje" propuesto por De la Torre (1993)<sup>7</sup>, con el fin de dar cuenta de que ambos procesos están estrechamente vinculados, lo que hace difícil su análisis en forma independiente, puesto que tanto la enseñanza como el aprendizaje conllevan un procesamiento de la información a nivel del sistema nervioso central.

En otras palabras, tanto educador como educando han desarrollado mundos interiores propios que representan sus estilos cognitivos (Solar, 1989)<sup>8</sup>. Esto significa que, según sus conocimientos y experiencias previas, establecerán interacciones que deberían resultar en enseñanza y aprendizaje, respectivamente. De ahí la importancia de reconocer el proceso de "enseñaje" como una interacción de mundos cognitivos creados por sus sistemas nerviosos centrales, pero, a la vez, modificados y moldeados por sus interacciones y contextos socioculturales.

A nuestro juicio, lo anterior no ignora la perspectiva que considera al aprendizaje como producto de la interacción social. Más bien, este artículo establece como supuesto la idea de que el sujeto aprende de los otros y con los otros; sin embargo, nos interesa abordar, desde el punto de vista de las Neurociencias, cómo se estructura el sustrato biológico-cognitivo de los participantes del proceso de 'enseñaje', de tal forma que les permita interactuar con los otros y con su entorno. El aprendizaje es fruto de la interacción social en la medida en que los actantes del proceso de 'enseñaje' estén dispuestos y habilitados para que dicha interacción se lleve a cabo. De aquí, nuestro interés por adentrarnos en la perspectiva neurofisiológica del proceso de 'enseñaje'.

---

7.- De la Torre, S. (1993) *Didáctica y currículo. Bases y componentes del proceso formativo*. Madrid: Dykinson, SL.

8.- Solar, M. (1995). Aportes de la investigación cognoscitiva en el proceso enseñanza- aprendizaje: las nuevas perspectivas. PAIDEIA. 20:9-21.

---

### 3. NEUROCIENCIAS Y COGNICIÓN

"Se ha dicho que la belleza está en los ojos del espectador. En tanto que hipótesis, este enunciado expresa con suficiente claridad el problema central de la cognición: el mundo de las experiencias está producido por el hombre que las experimenta...; sin embargo, no tenemos un acceso directo e inmediato a este mundo, ni a ninguna de sus propiedades. Sea lo que fuere lo que conocemos de la realidad, ha sido mediado no solo por los órganos de los sentidos, sino por complejos sistemas que interpretan y reinterpretan la información sensorial"<sup>9</sup>.

La cognición es el conjunto de todos los procesos mediante los cuales la información sensorial del mundo de las experiencias es capturada por nuestros sentidos, transformada en potenciales de acción, comparada con la información existente, almacenada en la memoria, recuperada cuando es necesario y utilizada cuando se dan las condiciones para ello. En forma sucinta, "el término "cognición se refiere a todos los procesos mediante los cuales el input sensorial es transformado, reducido, elaborado, almacenado, recuperado y utilizado"<sup>10</sup>.

La ciencia que en la actualidad se preocupa del problema de la cognición es la neurociencia cognitiva, una fusión entre ciencias cognitivas (psicología cognitiva, teoría de la información y teoría de sistemas), la etología (estudio del comportamiento humano) y las neurociencias (neuroanatomía, tecnología de neuroimágenes, neurofisiología y biología celular y molecular). El objetivo de la neurociencia cognitiva es lograr la explicación biológica de las interrogantes clásicas de la filosofía y la psicología sobre cómo ocurren las funciones mentales. De hecho, la neurociencia cognitiva es una nueva aventura científica que busca las explicaciones biológicas de los fenómenos de la percepción, la formación de ideas, los sentimientos, la memoria, la inteligencia y el lenguaje.

La explicación de la mente y el comportamiento humano en sus diversas dimensiones es un territorio disputado por la psicología, la psiquiatría, la neurología y la filosofía. Esto significa que lograr la explicación biológica de los procesos mentales e intelectuales asociados a la cognición es, con bastante probabilidad, una de las fronteras más duras de las ciencias naturales. La explicación biológica de los procesos mentales es uno de los grandes desafíos de la ciencia en el siglo XXI; así como lo fue el estudio de la célula en el siglo XIX y el estudio de los genes en el siglo XX, a saber,<sup>11</sup>:

"Es probable que el conocimiento del cerebro sea para el siglo XXI lo que el estudio de los genes ha sido para el siglo XX y lo que el conocimiento de la célula fue para el siglo XIX. Ya que la neurociencia está asumiendo un papel cada vez más central tanto en la biología como en la psicología, en la actualidad su docencia se ha extendido a muchas facultades universitarias. En el futuro, una introducción a las bases biológicas de la mente probablemente jugará un rol importante en el currículo troncal de las instituciones que forman en las profesiones liberales, puesto que la neurobiología es el nexo natural entre las humanidades y las ciencias naturales".

La neurociencia cognitiva surge con el apoyo de 5 hechos principales:

- a. El establecimiento de relaciones entre las conductas motoras y los procesos

---

9.- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century Crofts.

10.- Kandel, E. R., Schwartz, J. H. y Jessell, T. M. (1997). *Neurociencia y conducta*. Madrid: Prentice Hall.

11.- Ibid.

sensitivos, las cuales pudieron ser estudiadas a escala celular gracias al desarrollo de técnicas neurofisiológicas en las décadas de los 60 y 70s. De esta forma, se conectaron las conductas observables y algunas sensaciones mecánicas con la biología celular y la electrofisiología.

b. El establecimiento de relaciones entre una serie de procesos mentales complejos tales como leer, mirar, entender, entre otros, con patrones distintivos de actividad celular en ciertas zonas encefálicas. Esto permitió revelar que muchos de los procesos mentales se asocian al procesamiento de la información en zonas encefálicas específicas.

c. La comprobación de que, aunque las lesiones cerebrales generan alteraciones en los procesos cognitivos, existen para ellos muchas vías independientes de procesamiento de la información.

d. El desarrollo de las nuevas tecnologías de neuroimagen, tales como la tomografía de emisión de positrones (PET) o la resonancia magnética nuclear (RMN), que han permitido visualizar procesos mentales in vivo con cambios en la actividad metabólica en zonas encefálicas muy bien delimitadas.

e. Los avances de las ciencias computacionales, que han generado grandes aportes al estudio de la neurociencia cognitiva, ya que han permitido establecer que las funciones cognitivas operan gracias a complejas redes interconectadas cuya información se transfiere como unidades de información (los potenciales de acción), que básicamente representan las unidades del lenguaje del cerebro.

#### **4. BASES NEUROFISIOLÓGICAS DEL "ENSEÑAJE"**

La estructura del sistema cognitivo, tanto del educador como la del educando, es un proceso continuo que tiene como sustrato material la compleja red neuronal del sistema nervioso central. Este proceso no se comporta como un sistema de "fotocopiado humano" que sólo reproduce en forma mecánica e instantánea los aspectos de la realidad objetiva que se introducen en la referida red neuronal. Ante tal influjo del entorno, el individuo no se limita a copiar o reproducir, sino que transforma los estímulos externos; es decir, construye algo personal con ellos. Es importante advertir que si el proceso de "enseñaje" resulta interferido de manera adversa, no se establecerá ni la voluntad ni la atención o la concentración necesarias para construir conocimiento, sólo se alcanzarán aprendizajes frágiles y efímeros, debido a que el proceso de comunicación didáctica ha sido deficiente.

La concepción neurofisiológica relacionada con el aprendizaje así como, por ejemplo, los estudios acerca de la participación de los hemisferios cerebrales en tal proceso, se han desarrollado de una forma tan espectacular en los últimos años, que se ha llegado a plantear que el comportamiento cerebral del individuo está indisolublemente ligado al estilo de aprendizaje de éste. En otras palabras, según el funcionamiento del sistema nervioso central serán las características y particularidades del proceso de aprendizaje del individuo.

El encéfalo es el órgano más complejo del cuerpo humano: tiene un impresionante número de células funcionales (100.000 millones de neuronas) y un número de conexiones interneuronales -sinapsis- todavía más alto (unos 10.000 billones de conexiones). Tanto las neuronas como sus conexiones configuran una red neuronal funcional ampliamente interconectada e interdependiente. Las funciones que surgen

de estas redes neuronales permiten la coordinación de todas las funciones voluntarias (o corticales) e involuntarias (o vegetativas) del cuerpo humano.

Desde un punto de vista neuroanatómico, el encéfalo humano está formado por siete partes o regiones principales: la médula espinal, el bulbo raquídeo, la protuberancia, el cerebelo, el cerebro medio, el diencefalo y los hemisferios cerebrales (derecho e izquierdo). La función holística del encéfalo como coordinador maestro de las funciones del cuerpo humano se regula y retroalimenta por la interacción dinámica de sus tres sistemas funcionales: (1) sensorial, (2) motor y (3) motivacional.

El sistema sensorial del cuerpo humano tiene como función principal la monitorización, transformación y entrega de la información sensitiva proveniente desde la superficie del cuerpo hacia el encéfalo. Este sistema está formado por tres componentes: 1) una gran cantidad de receptores sensitivos localizados en diferentes partes del cuerpo; 2) las vías sensitivas aferentes que llevan la información desde la periferia hacia el sistema nervioso central y 3) las zonas especializadas del encéfalo donde finalmente se procesa y percibe la sensación de los estímulos externos. Existen muchos tipos distintos de receptores, tales como los fotorreceptores (visuales), los mecanorreceptores (táctiles) y los receptores auditivos. Gracias a ellos podemos conocer lo que ocurre fuera de nuestro cuerpo y a la vez formar nuestro propio mundo interno.

El problema central de la percepción del mundo externo a través de nuestros órganos de los sentidos radica en que existiendo un mundo real en el que interactuamos como seres biológicos, sólo conocemos de este mundo externo lo que nuestros órganos de los sentidos nos permiten conocer de él. Esto ocurre, en parte, debido a que son precisamente nuestros órganos de los sentidos los que nos permiten tener una noción de la existencia de las cosas. Este problema se verifica, por ejemplo, en la dificultad de explicarle a un ciego de nacimiento un color como el azul o el amarillo. Un ciego podría llegar a entender que los colores representan ondas luminosas de diferentes longitudes de onda, pero ya que nunca pudo incorporar esa sensación, el ciego vivirá en un mundo sin colores e interactuará con el mundo exterior ignorando por completo la existencia de los colores. En la práctica, para un ciego de nacimiento el mundo real carece de colores. Son, por lo tanto, los receptores sensitivos los que forman nuestros mundos internos y condicionan nuestra capacidad y potencialidad de interacción con los otros seres vivos o cosas inanimadas del mundo externo.

El sistema motor del cuerpo humano, por su parte, tiene como función principal la planificación y elaboración de respuestas motoras de músculos específicos que generan movimientos adecuados a las necesidades del individuo. Al igual que el sistema sensitivo, este sistema está formado por tres componentes: 1) zonas especializadas del encéfalo donde se procesa y ordena la secuencia temporal de neuronas motoras que serán activadas; 2) vías motoras eferentes que sacan la información desde el sistema nervioso central y la llevan hacia los músculos seleccionados y 3) efectores o músculos que se contraen o relajan de acuerdo al plan maestro originado en el encéfalo. Un problema central que involucra al sistema motor con las capacidades intelectuales se relaciona con el hecho de que las capacidades cognitivas de una persona sólo pueden ser reconocidas como tales a través de algún tipo de movimiento muscular. El talento o la inteligencia de una persona no logrará expresarse apropiadamente si tiene problemas para el uso de sus músculos de la fonación (problemas para hablar) o a través de sus músculos de la mano para la escritura (problemas para escribir) o a través de otros músculos para la expresión

corporal (problemas para moverse). Sólo en casos muy extremos el uso de aparatos electrónicos permitirá la correcta expresión del talento y su plena potencialidad a personas con desórdenes de su sistema motor, como es el caso del connotado científico Stephen W. Hawking<sup>12</sup>. Existe, por lo tanto, una dependencia entre la expresión del intelecto y el funcionamiento del sistema muscular.

Finalmente, está el sistema motivacional del cuerpo humano, que tiene como función principal la modulación y activación de los sistemas sensitivos y musculares. Sin duda, este sistema es de la mayor importancia, puesto que representa la expresión de las necesidades internas u homeostáticas del individuo que -en definitiva- controlan, modulan y gatillan conductas incluso en ausencia de estímulos externos. De esta manera, las conductas humanas observables no responden simplemente al procesamiento de la información sensorial, puesto que pueden ser modificadas y originadas sin estímulo evidente por este sistema, refutando, de esta forma, la necesidad conductista de tener estímulos sensitivos para generar conductas reconocibles como respuestas motoras.

El sistema motivacional cumple, en general, tres funciones: en primer lugar, una función directiva, ya que guía la conducta hacia la consecución de una meta específica; en segundo lugar, tiene una función activadora, ya que incrementa la alerta general y da energía al individuo para la acción y, en tercer lugar, tiene una función organizadora al combinar cada uno de los componentes de la conducta para formar una secuencia de comportamiento coherente orientada hacia la consecución de dicha meta. Un componente de gran interés del sistema motivacional son las regiones encefálicas asociadas a la recompensa o el refuerzo. Los sistemas neuronales que median estas conductas motivadas positivamente están actualmente bien delimitados. Se piensa que varios fármacos adictivos tales como la nicotina, el alcohol, los opiáceos y la cocaína producen su acción interactuando sobre las mismas vías neuronales que median las conductas motivadas positivamente, esenciales para la sobrevivencia.

Al llevar el sistema motivacional al plano pedagógico, se puede establecer que un estudiante altamente motivado tiene una mayor posibilidad de éxito en su proceso de aprendizaje y, a la vez, el proceso de comunicación didáctica es más efectivo y, probablemente, más significativo.

## **5. EL CEREBRO: CONCEPTUALIZACIÓN Y ESTRUCTURA**

El cerebro es, por un lado, un órgano totalmente original en el universo y, por otro, un universo en sí mismo. Constituye, en su conjunto, el sustrato material de la neuropedagogía centrada en la interacción entre el referido órgano como tal y el aprendizaje. La concepción neurofisiológica del aprendizaje no entra en contradicción antagónica con ninguna otra concepción al respecto. Todo lo contrario, desde la más simple sensación hasta los más complejos pensamientos no se desarrollarían sin la

---

12.- Stephen W. Hawking, es uno de los científicos más famosos en la actualidad, con una alta productividad y gran reconocimiento mundial, a pesar que padece de una enfermedad degenerativa del sistema nervioso central denominada esclerosis lateral amiotrófica (ELA) que lo tiene postrado en una silla de ruedas y le permite mover solo un dedo de su mano. Hawking ha sido capaz de producir y expresarse intelectualmente gracias a una serie de elaborados instrumentos electrónicos adosados a su silla de ruedas. También, gracias a los continuos cuidados, Hawking a sobrepasado el tiempo de esperanza de vida para quienes padecen de ELA.

existencia de un sustrato material de redes neuronales. Sin embargo, ellos deben estar debidamente interrelacionados e influenciados por los múltiples factores físicos, químicos, biológicos y sociales del entorno del individuo.

De acuerdo con sus niveles de complejidad y a su desarrollo en distintas especies de animales superiores, incluido el hombre, el cerebro presenta tres segmentos: primitivo, motivacional y superior. Es importante aclarar que estos segmentos están jerarquizados y se retroalimentan continuamente, siendo el segmento primitivo necesario como sustento homeostático de los otros y el motivacional, modulador de las funciones del segmento primitivo y del superior.

El cerebro primitivo o archipallium o cerebro reptiliano es esencial para la vida, puesto que es el encargado de mantener la homeostasis- equilibrio interno del medio interno- y está relacionado con las conductas agresivas, repetitivas y de autoconservación. Por ello la función de este cerebro es indispensable como plataforma homeostática para otras funciones afectivas y cognitivas del ser humano. La ausencia de las funciones del cerebro primitivo generará necesariamente la muerte del individuo. La función del cerebro primitivo en ausencia de las funciones de los otros cerebros generaría, teóricamente, un individuo en estado clínico vegetal o, en el mejor de los casos, un automatón (Guyton 1996)<sup>13</sup> que sería capaz de buscar alimento y hasta de reproducirse si se le dan las condiciones (tal como lo hace una lagartija), pero no tendría capacidades intelectuales ni emocionales.

El cerebro intermedio o paleopallium o cerebro motivacional o sistema límbico se suma al cerebro primitivo en los mamíferos. Su función en los animales superiores es tan importante que su ausencia o alteración tiene consecuencias dramáticas sobre las capacidades complejas tales como el lenguaje, la inteligencia y la memoria cognitiva representativa de largo plazo. Por ejemplo, los efectos de las drogas más adictivas se localizan al nivel de este cerebro, lo mismo que el placer y el orgasmo. Este cerebro regula también las funciones motoras y sensitivas asociadas a la función cerebral, pero no de la misma manera que lo hace el cerebro primitivo. El cerebro primitivo coordina los arcos reflejos necesarios para conectar un estímulo sensitivo con una respuesta motora cuando, por ejemplo, esquivamos un objeto que nos impactará sobre nuestro cuerpo. El cerebro motivacional nos impulsa a hacer mejor las cosas, a aprender, a ser mejores estudiantes, a organizar nuestra memoria con significados y a cumplir metas que en términos biológicos no se asocian directamente a la homeostasis de nuestro cuerpo. Este cerebro organiza los estímulos externos clasificándolos como agradables o desagradables y, por lo tanto, permite desarrollar sentimientos y emociones como la ira, el miedo, la pasión, el amor, el odio y la tristeza, que no son parte de las funciones del cerebro primitivo.

El cerebro superior o racional o neopallium -desarrollado sólo en los mamíferos superiores incluyendo primates y humanos- comprende las estructuras de casi la totalidad de los hemisferios cerebrales y está, a su vez, constituido por un tipo de corteza más reciente denominada neocorteza.

---

13.- Guyton, A.C. y Hall, J.E. (1997). *Fisiología y fisiopatología*. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana: "El hecho mismo de permanecer vivos casi está fuera de nuestro control; el hambre nos obliga a buscar alimento y el temor refugio. Cuando se siente frío se busca calor y otras fuerzas despiertan sentimientos gregarios y deseos de reproducción. Así el ser humano es un automatón, y el hecho de ser ente sensible, sensitivo y susceptible de aprender sólo es parte de la secuencia automática de la vida; estos atributos especiales le permiten vivir en condiciones muy variables en las cuales, de otro modo, la vida sería imposible" (p. 3).

---

El cerebro superior de los seres humanos tiene, comparativamente con otros mamíferos, un desarrollo muy superior de los hemisferios cerebrales. Ellos son las regiones más grandes del encéfalo donde operan las funciones intelectuales superiores como el lenguaje, la memoria, el aprendizaje, en definitiva, las capacidades cognitivas humanas. Desde un punto de vista neuroanatómico, los hemisferios cerebrales están compuestos por la corteza cerebral (redes neuronales más complejas); la sustancia blanca subyacente (compuesta de segmentos alargados de las neuronas y células de soporte y nutrición) y, además, por tres núcleos de neuronas situados profundamente en la sustancia blanca, a saber, los ganglios basales, el hipocampo y la amígdala.

El córtex que recubre cada hemisferio cerebral está dividido en cuatro lóbulos: frontal, parietal, temporal y occipital, denominados así por los huesos craneales que los cubren. Cada lóbulo tiene funciones especializadas ampliamente reconocidas. Por ejemplo, el lóbulo frontal está asociado a la planificación de la acción futura y al control del movimiento. El lóbulo parietal está involucrado en la sensación de tacto y la imagen corporal (propiocepción). El lóbulo occipital está asociado con la visión, y el lóbulo temporal con la audición y ciertos aspectos del aprendizaje, la memoria y la emoción.

Desde un punto de vista macroscópico, los dos hemisferios parecen ser similares, pero su estructura no es completamente simétrica ni tienen funciones equivalentes. Existe evidencia empírica de este hecho recopilada a través de diversas técnicas de laboratorio tales como: (1) las disecciones del cuerpo calloso (la gran vía interneuronal que comunica el hemisferio izquierdo con el derecho), (2) los análisis post-mortem de cerebros de personas con ciertos defectos conductuales, cognitivos o del lenguaje, (3) los experimentos de estimulación eléctrica de zonas cerebrales específicas y (4) las nuevas técnicas de neuroimagen. Ellas parecen indicar que cada hemisferio tiene, de hecho, funciones especializadas. Es así como se conoce que cada hemisferio se ocupa básicamente de los procesos sensoriales y motores del lado opuesto del cuerpo. Por ejemplo, al escribir con la mano derecha se está utilizando la corteza motora primaria del hemisferio izquierdo mientras que al levantar la pierna izquierda se está utilizando la corteza motora primaria del hemisferio derecho. Lo mismo es cierto para los procesos sensoriales en la piel: si se pincha la mano izquierda la corteza sensitiva primaria derecha lo sentirá y viceversa. En cuanto a otras funciones intelectuales, se conoce que el lenguaje está asociado al hemisferio izquierdo y las funciones artísticas, al derecho.

## **6. BASES BIOLÓGICAS DE LA COGNICIÓN**

En términos biológicos, nuestro cuerpo -al igual que otros animales- posee una serie de memorias que se comienzan a establecer desde el momento mismo de la fecundación. Por lo tanto, al nacer, nuestro cerebro ya posee una gran cantidad de información heredada por nuestros padres y adquirida durante la vida intrauterina. Esta memoria nos permite ciertas conductas o comportamientos básicos asociados a la sobrevivencia, a la mantención de la integridad del cuerpo y a la mantención de la homeostasis sin haberlas aprendido, ya que están determinadas por la estructura misma del sistema nervioso central como por ejemplo, las conductas reflejas del neonato tales como la succión del pezón de la madre, la flexión y el llanto frente a estímulos dolorosos, entre otros. En animales inferiores, incluso conductas complejas asociadas al apareamiento están predeterminadas genéticamente.

En términos cognitivos, nuestro cuerpo también adquiere desde la vida intrauterina la capacidad de procesar información basada, en su etapa inicial,

fundamentalmente, en el reconocimiento de la voz de su madre y el olor de sus padres.

Al llevar lo anterior al plano pedagógico, se puede señalar que en el proceso de "enseñaje", el educando posee información y experiencias previas que han sido desarrolladas, ampliadas y modificadas dependiendo de la calidad de los estímulos del entorno.

En nuestro cuerpo se reconocen cuatro fuentes de información que modelan nuestra conducta, gracias -en general- a los cambios en nuestro sustrato neuronal y celular. Estas fuentes de información se conocen como memorias. Giordan (2000)<sup>14</sup>, desde un punto de vista biológico, señala que el cuerpo humano presenta 4 tipos de memorias:

### **6.1. La memoria genética**

Construida sobre la base del ADN. Este ADN está empacado en los 46 cromosomas de los núcleos de las células. Esta memoria es parte del patrimonio común de la especie y sus variaciones particulares se establecen cuando las dos mitades del material genético de cada progenitor se combinan en el momento de la fecundación. Esta memoria genética establece en cada persona una potencialidad genética de desarrollarse como hombre o mujer, ser negro o blanco, tener ojos azules o negros, tener una potencialidad de desarrollo del cuerpo humano, tener rasgos o patologías específicas y establecer las potencialidades de interacción con el medio ambiente.

### **6.2. La memoria inmunológica**

Está construida por una serie de células sanguíneas defensivas; a saber, los linfocitos y los macrófagos que nos salvan de morir por infecciones virales o bacterianas que continuamente atacan nuestro cuerpo. Estas células sanguíneas defensivas son capaces de reconocer lo propio de lo extraño y atacar sólo a lo extraño. Esta memoria inmunológica guarda un registro de todos los visitantes que han invadido nuestro cuerpo, ya sean bacterias, virus, hongos u otro parásitos. Cuando ocurren re-infecciones el cuerpo está alerta, y elabora una complicada respuesta humoral (plasma) y celular que permite eliminar apropiadamente a los invasores.

### **6.3. La memoria cognitiva**

Ella se entiende como un mecanismo de almacenamiento ontológico de las experiencias vividas, lo que genera un banco de datos necesario para la vida del individuo que normalmente se ha concebido como un modelo de biblioteca o de computador. En la actualidad, sin embargo, se describe a esta memoria como un sistema muy complejo y múltiple mucho más elaborado y dinámico que la mejor biblioteca y el más potente computador. En la memoria cognitiva es posible reconocer una memoria refleja y una memoria de representación. La memoria refleja tiene un enorme componente instintivo y gracias a ella podemos realizar actos necesarios para mantener la vida como comer, beber, jugar y aquellos actos necesarios para mantener la especie, como la reproducción. La memoria representativa permite la representación de objetos, personas o acontecimientos en su ausencia.

Dentro de la memoria representativa se pueden distinguir una memoria de corto plazo, conocida como memoria de trabajo, y una memoria de largo plazo. En

---

14.- Giordan, A. (2000). *Mi cuerpo, la mayor maravilla del mundo*. Barcelona: Plaza y Janes.

realidad, la memoria de corto plazo funciona como una estación de clasificación donde se puede almacenar hasta 7 elementos (fechas, nombres, cifras etc.), retenerlos por algunos minutos y luego decodificar esta información antes de enviarla a algunas zonas de la corteza cerebral. La memoria de largo plazo, en cambio, es un sistema que posee una capacidad ilimitada para guardar y acceder a información pasada.

La explicación biológica del papel de la memoria cognitiva representativa de largo plazo en el aprendizaje ha tenido espectaculares avances con el aporte de las Neurociencias. Gracias a ellas se ha logrado identificar la molécula de la memoria llamada receptor NMDA (N-metil-D-aspartato). Esta molécula está presente en la sinapsis de las neuronas del hipocampo, que es clave para las funciones de la memoria cognitiva representativa de largo plazo y para el aprendizaje<sup>15</sup>.

Las bases celulares para entender los mecanismos moleculares y genéticos de la memoria y el aprendizaje provienen de la regla del aprendizaje de Hebb (Hebb and Wiley, 1949)<sup>16</sup> que establece que un recuerdo se produce cuando dos neuronas conectadas se activan simultáneamente, de tal forma que se refuerza la sinapsis.

En la actualidad, existe una intensa investigación farmacológica y clínica en relación con posibles drogas que estimulen el receptor de NMDA y mejoren así las capacidades de memoria y aprendizaje especialmente en patologías como la enfermedad de Alzheimer con la cual se pierde la capacidad de la memoria. Pero no se trata solamente de almacenar información sobre "el disco duro cerebral". Quizás de mayor relevancia es el problema de cómo recuperar y darle significado a esa información. Es mucho más fácil recordar algo cuando ha sido codificado de múltiples maneras - verbal, gráfica, motriz- y ha sido asociado con el conocimiento previo. No se almacenan hechos directamente, los eventos primero se codifican y se relacionan con estructuras preexistentes, luego se les da un significado en función de una situación que es significativa para el individuo, es decir, se recuerda en función a las emociones.

Por ello, el componente significado por la emoción es absolutamente central para poder recuperar la información proveniente de la memoria de largo plazo. Cada elemento memorizado conlleva una carga emocional y sin el cerebro motivacional el cerebro cognitivo no podría funcionar. De hecho, las estructuras cerebrales asociadas a la memoria de largo plazo son el hipocampo y la amígdala, que son parte del cerebro motivacional. Sin embargo, se considera que la memoria no está exclusivamente localizada en estas estructuras cerebrales, sino que más bien funciona gracias a redes neuronales interconectadas en un conjunto de capas neuronales corticales y subcorticales.

#### **6.4. La memoria cultural**

Que nos precede y nos sucederá. Es la memoria de la humanidad de la cual nos vamos apropiando en nuestra vida y a la cual podemos contribuir gracias a aportes específicos como un libro, una obra de arte o un nuevo paradigma científico. Esta memoria nos entrega puntos claves de referencia para percibir, gestionar, sentir e interpretar la realidad.

En síntesis, la tríada aprendizaje, enseñanza y Neurociencias nos permite concebir al organismo humano como un sistema abierto y modificable capaz de

---

15.- Tsien, J. Z. (2000). Ratonos expertos. *Investigación y ciencia*: Junio pp. 44-50.

16.- Hebb, D.O. (1949). *The organization of behavior: a neuropsychological theory*. California: John Wiley.

percibir, asimilar y reelaborar la información que recibe de su entorno. Este postulado, ciertamente, tiene repercusiones en el concepto de "enseñaje", anteriormente descrito, puesto que obliga tanto a educadores como educandos a replantearse sus roles en el proceso educativo. Desde esta perspectiva, ambos sujetos deben asumir como agentes activos y flexibles ante la sociedad del conocimiento que hace impracticable la figura del "dueño del saber", puesto que el conocimiento ha sobrepasado al hombre.

Esta misma tríada pone en el tapete el tema de la comunicación didáctica en el proceso de 'enseñaje' ¿De qué manera sujetos con mundos cognitivos distintos logran dialogar significativamente, de tal forma que se produzca el 'enseñaje'? Parece ser que, en lo fundamental, se debe favorecer el desarrollo de estrategias de interacción pedagógicas entre el conocimiento y experiencias pre-existentes del educando y el conocimiento y experiencias pre-existentes del educador con el fin de mejorar las interacciones a nivel de las interfases dialógicas que surgen cuando mundos cognitivos diferentes chocan en el espacio del 'enseñaje'.

Un docente debe admitir que cuando entra al aula se enfrenta a la problemática múltiple de:

- tener tantos mundos cognitivos como alumnos en su clase;
- tener tantos cerebros funcionales con memorias particulares como alumnos en su clase;
- tener que crear una interfase dialógica didáctica y funcional con cada uno de esos mundos y cerebros distintos. La pregunta es ¿cómo crear esta interfase dialógica didáctica y funcional si cada alumno es distinto?. Nosotros creemos que la clave está en utilizar una variedad de estrategias de activación del sistema cerebral motivacional de los alumnos de tal forma que cada uno de esos cerebros logre entrar al espacio del enseñanza que el docente quiere plantear y pueda también contribuir a partir de sus propios saberes y memorias. Estas y otras interrogantes serán respondidas a medida que se logren mayores avances sobre el funcionamiento del cerebro y las relaciones que existen entre éste y 'enseñaje'.

## BIBLIOGRAFÍA

Coloma, C. (1995). ¿Aprendiendo con sentido o aprendizaje significativo? *Revista de Educación*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Vol. IV, N° 7.

Coloma, C. y Tafur R. (2000). Sobre los estilos de enseñanza y de aprendizaje, *Revista de Educación*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Vol. IX, N° 17.

De la Torre, S. (1993). Didáctica y currículo. *Bases y componentes del proceso formativo*. Madrid: Dykinson, SL.

Giordan, A. (2000). *Mi cuerpo, la mayor maravilla del mundo*. Barcelona: Plaza y Janes.

Guyton, A.C. y Hall, J.E. (1997). *Fisiología y fisiopatología*. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.

Hebb, D.O. (1949). *The Organization of behavior: a neuropsychological theory*. California: John Wiley.

Kandel, E. R., Schwartz, J. H. y Jessell, T. M. (1997). *Neurociencia y conducta*. Madrid: Prentice Hall.

Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century Crofts.

Sáez, Ó. (1994). *Didáctica general. Un enfoque curricular*. Madrid: Marfil.

Solar, M. (1995). Aporte de la investigación cognoscitiva en el proceso enseñanza-aprendizaje: las nuevas perspectivas. *PAIDEIA* 20: pp.9-21. Concepción: Universidad de concepción.

Tsien, J. Z. (2000). *Ratones expertos. Investigación y ciencia*: Junio, pp. 44-50. N 5: V3.

Zabalza, M. (1997). *Diseño y desarrollo curricular*. Madrid: Narcea.