

## EL CEREBRO Y EL APRENDIZAJE. (Brain and learning)

**Sergio Mora Gutiérrez**

*Programa de Farmacología Molecular y Clínica (ICBM), Facultad de Medicina, Universidad de Chile.*

### RESUMEN

*El presente trabajo revisa algunos conceptos fundamentales acerca de la forma en que se genera el aprendizaje, considerado como manifestación de la plasticidad del cerebro. Se describe la evolución histórica, desde Ramón y Cajal hasta Kandel, del concepto de aprendizaje como consecuencia de cambios cualitativos y cuantitativos de la conectividad sináptica. Se presentan los principios del aprendizaje experiencial y el ciclo del aprendizaje, elaborados por David Kolb, y la forma en que se relacionan con las estructuras cerebrales involucradas en el aprendizaje y la memoria. Se discuten, además, diversas estrategias postuladas como estimuladoras del aprendizaje y la memoria, incluyendo el uso de fármacos. Se enfatiza la importancia de los hábitos saludables y el aprendizaje continuo como las mejores herramientas para mantener el funcionamiento normal del cerebro. Se concluye que la comprensión de cómo funciona el cerebro durante el aprendizaje puede favorecer el trabajo docente.*

**Palabras Claves:** *Aprendizaje, Ciclo del Aprendizaje, Aprendizaje Experiencial, Conectividad sináptica, Plasticidad neuronal.*

*Publicado por la Sociedad de Farmacología de Chile*

### INTRODUCCIÓN

Cada cierto tiempo y en forma cíclica, se plantean cambios o reformas para mejorar la calidad de la educación que, en su mayoría, tienen que ver con innovaciones en el currículo o en los métodos de enseñanza, y que muy raramente toman en cuenta la manera en que nuestros estudiantes aprenden. Durante mucho tiempo, contado en siglos, los profesores han ejercido su labor docente sin saber mucho, o casi nada, acerca de cómo se produce el aprendizaje en el cerebro de sus estudiantes. Adecuar los estilos de enseñanza a los diversos estilos de aprendizaje o al nivel de madurez cerebral de los estudiantes era algo impensable. Enseñar, tal como era la práctica de la medicina hace poco más de un siglo, estaba más en el área del arte que de la ciencia. Esta situación se debía principalmente a que habían pocos conocimientos o evidencias confiables acerca de la biología del cerebro (Souza, 2010).

Hasta hace poco tiempo era la psicología conductista la que fundamentaba la mayor parte de las prácticas

docentes basadas en modificar la conducta de los niños en base a reforzamientos positivos o negativos o la aplicación de castigos, no necesariamente físicos. Lo que pasaba en sus cerebros se ignoraba en absoluto y el cerebro prácticamente no se tomaba en cuenta. Pero, en la actualidad, el escenario ha cambiado radicalmente, gracias al espectacular avance que han tenido las ciencias del cerebro, las neurociencias, debido en gran medida al desarrollo de tecnologías de estudio de imágenes que permiten observar al cerebro de personas sanas trabajando.

De esta manera hemos ido adquiriendo una mayor comprensión del funcionamiento de los complejos mecanismos y redes neuronales del cerebro humano. Naturalmente, este maravilloso y complejo órgano sigue guardando muchos secretos que se irán develando paulatinamente y que tendrán importantes implicancias en la enseñanza y el aprendizaje.

**Correspondencia a:** Dr. Sergio Mora Gutiérrez, Laboratorio de Farmacología del Comportamiento. Programa Farmacología, ICBM, Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Av. Salvador 486, Teléfono: 56-2-2741560, Fax: 56-2-2741628. Correo Electrónico: [smora@med.uchile.cl](mailto:smora@med.uchile.cl)

## EL APRENDIZAJE ES CAMBIO

Una de las características más notables de los seres vivos es su gran capacidad de aprendizaje. Para poder sobrevivir necesitamos aprender y desarrollar conductas que permitan adaptarnos a los cambios del medio ambiente. Para David Kolb (Kolb y Kolb, 2005), autor de la teoría del Aprendizaje Experiencial, el aprendizaje es el proceso mediante el cual la información sensorial se transforma en conocimiento. Si se considera el aprendizaje como un cambio más o menos duradero del comportamiento, parece lógico suponer que vaya acompañado de cambios funcionales y estructurales del cerebro.

Este concepto es ahondado por James Zull (2002), para quien el aprendizaje tiene que ver con el cambio y, al mismo tiempo, es el cambio. Para que haya aprendizaje debe haber un cambio en el cerebro, por lo tanto, la enseñanza debería ser el arte de cambiar el cerebro o, al menos, crear las condiciones para que se produzca el cambio en el cerebro del estudiante. Si lo que tratamos de enseñar guarda relación con su vida, sus emociones, sus experiencias o su entendimiento, el cambio se producirá y el estudiante aprenderá.

## EL CEREBRO ES PLASTICO

Los primeros investigadores del sistema nervioso caracterizaron el cerebro como un órgano rígido que, una vez que alcanzaba su completa maduración, mantenía sus propiedades morfológicas y funcionales inalteradas. Si esto fuera así no se podrían explicar los cambios de comportamiento que se producen en los individuos adultos como consecuencia de la experiencia (Mora, 2008). Hoy, gracias a las evidencias científicas acumuladas, sabemos que la realidad es muy distinta. Precisamente, se considera que la principal y más distintiva característica del cerebro es su sorprendente habilidad de modificarse a sí mismo como consecuencia del aprendizaje o en respuesta a cambios del medio ambiente. Esta particular propiedad que hoy conocemos como plasticidad neuronal, fue definida precisamente a fines del siglo XIX por Santiago Ramón y Cajal, Nobel de Medicina de 1906; como "la propiedad por virtud de la cual ocurren cambios funcionales sostenidos en sistemas neuronales luego de la administración de estímulos ambientales apropiados o la combinación de diferentes estímulos" (Benfenati, F, 2007).

Posteriormente, Ramón y Cajal postuló la teoría de que el establecimiento de nuevas conexiones sinápticas sería el substrato neural del aprendizaje y la memoria. Las contribuciones de este investigador español fueron notables; basta con mencionar que fue el primero en identificar a las neuronas como células anatómica y funcionalmente diferentes a las del resto del cuerpo, a las cuales llamó, muy poéticamente, "las mariposas del alma".

Además propuso que las neuronas se comunicarían entre sí en sitios concretos, que Sherrington bautizó con el nombre de sinapsis. A él se le atribuye también la siguiente afirmación: "todo hombre puede ser, si se lo propone, escultor de su propio cerebro". En otras palabras, si bien el cerebro cambia como consecuencia de los estímulos o experiencias provenientes del medio ambiente, también puede cambiar su estructura y su funcionamiento de acuerdo a como lo utilizemos, de nuestros actos y pensamientos.

## LAS CONEXIONES HEBBIANAS

Más avanzado el siglo XX, Donald Hebb (1949) postuló lo que posteriormente se conocería como la teoría hebbiana que describe un mecanismo básico de plasticidad sináptica en el que el valor de una conexión sináptica se incrementa si las neuronas pre y post sinápticas se activan repetidamente y en forma simultánea. La idea básica de Hebb era que las neuronas que disparan juntas se conectan entre sí. En palabras del propio Hebb "cuando el axón de una célula A está lo suficientemente cerca como para excitar a una célula B y la activación se produce en forma repetida, ocurren cambios metabólicos en una o ambas células, de manera que tanto la eficiencia de la célula A, como la capacidad de excitación de la célula B son aumentadas". Según Hebb, la memoria debería asentarse en un cambio estructural permanente en el cerebro. Dicho cambio se lograría modificando la efectividad de las sinapsis ya existentes, por ejemplo mediante el estrechamiento de la conectividad neuronal que hace más eficiente la comunicación en las sinapsis implicadas en el procesamiento y almacenamiento de una información determinada.

Sin duda que Hebb estaba en la senda correcta, pero tuvieron que pasar varias décadas para que fuera un estudiante de postgrado que se convirtiera en la primera persona en observar cambios en la actividad neuronal relacionados con la experiencia. Pero esta historia la dejaremos para más adelante.

## NO SOLO EL TAMAÑO IMPORTA

En la década de 1870, Alexander Bain propuso la idea de que el aprendizaje y la memoria podían ser mediadas por la formación de nuevos contactos sinápticos, idea que fue respaldada por Ramón y Cajal (1894) y Sherrington (1897) pero, por falta de evidencias concretas que la confirmaran, el apoyo fue declinando hasta que Hebb (1949) ayudó a resucitar la hipótesis sináptica del aprendizaje. Sin embargo, C. Eccles, neurofisiólogo ganador del premio Nobel de 1963, se mantuvo firme en su opinión de que el almacenamiento del aprendizaje y la memoria incluye "crecimiento precisamente de mayores y mejores sinapsis que ya estaban ahí, no al crecimiento de conexiones

nuevas" (Eccles, 1965). No fue hasta la década de 1970 que los experimentos con ratas de laboratorio criadas en ambientes enriquecidos o empobrecidos aportaron pruebas de que la experiencia puede dar origen a nuevas conexiones sinápticas en el cerebro (Rosenzweig y Bennett, 1977).

Chang y Greenough (1982) confirmaron la idea de que, en el cerebro de la rata, se forman nuevos contactos sinápticos en la corteza cerebral en respuesta al aprendizaje y a la formación de la memoria de largo plazo. Más aún, el tamaño de los contactos sinápticos también cambia como consecuencia de la experiencia diferencial (Greenough y Volkmar, 1973). Este aumento en el número y tamaño de los contactos sinápticos aumenta la certidumbre de la transmisión sináptica en los circuitos donde se producen los cambios. Heisenberg y col (1995) hicieron estudios en la mosca de la fruta (*Drosophila*) y llegaron a la conclusión que la mayoría de las regiones de su cerebro "están reorganizándose continuamente a lo largo de la vida en respuesta a las condiciones específicas de vida".

#### **CARACOL, CARACOL**

Muy valiosos han sido los trabajos realizados por Eric Kandel, que llevó a cabo un programa de investigaciones sobre la plasticidad neural en los invertebrados. Este científico estudio lugares y mecanismos de plasticidad para el aprendizaje tanto asociativo como no asociativo de la *Aplysia*, una variedad de caracol de mar (Kandel y col, 1987). Se ha observado que en *Aplysia*, tanto el número como el tamaño de las uniones sinápticas varían en función del entrenamiento (Bailey y Chen, 1988), en forma análoga a lo que sucede en mamíferos (West y Greenough, 1972). Eso sirvió, además, para refutar la afirmación anterior de algunos investigadores respecto a que los eventos neuroquímicos en las sinapsis ya existentes bastaban para dar cuenta del aprendizaje y la memoria. Los resultados obtenidos permiten concluir que, en una amplia gama de especies, puede almacenarse información en el sistema nervioso debido a cambios tanto en el tamaño como en el número de contactos sinápticos. Incluso en un animal relativamente simple como la *Aplysia*, el remodelado estructural del sistema nervioso que tiene lugar durante el desarrollo, probablemente continúa en cierta medida a lo largo de la vida y puede ser controlado por la experiencia (Kandel y col., 1991).

#### **LA POTENCIACION A LARGO PLAZO**

A fines de la década de 1960, Tèrje Lomo realizaba su doctorado en la Universidad de Oslo en Noruega. Parte de su investigación consistía en encontrar dos neuronas que compartieran una sinapsis, insertar luego un electrodo estimulante en la neurona pre sináptica A y un electrodo

de registro en la neurona postsináptica B. Luego Lomo estimuló la neurona A y registró la respuesta en la neurona B. De manera normal, cierta cantidad de estimulación producía cierto nivel de respuesta: una estimulación única débil en A produciría una respuesta débil en B, y una descarga fuerte de estimulación de alta frecuencia en A (por ejemplo, 100 estímulos por segundo) produciría una respuesta fuerte en B. Sin embargo, para sorpresa de Lomo, la estimulación de alta frecuencia de la neurona A también produjo un cambio duradero en la neurona B, de manera que B respondía fuertemente a una posterior estimulación débil de A. Es decir, una estimulación fuerte es capaz de potenciar a una neurona, haciendo más probable que responda a cualquier estímulo posterior. Este efecto, en que la transmisión sináptica se hace más eficiente como resultado de la actividad reciente, se conoce como potenciación a largo plazo (PLP). Los trabajos de Lomo y colaboradores fueron las primeras demostraciones de que las neuronas podían modificar su actividad en función de la experiencia y que esos cambios podían durar horas o días (Bliss y Lomo, 1973). Desde entonces, la PLP se convirtió en uno de los fenómenos más estudiado de la neurociencia.

#### **EL CICLO DEL APRENDIZAJE**

Según Kolb (1994), el aprendizaje es un proceso por el cual el conocimiento resulta de la combinación de la captura y la transformación de la experiencia. En su teoría del Aprendizaje Experiencial, este educador concibe el aprendizaje como un proceso de creación y recreación del conocimiento, en el cual todo aprendizaje es un reaprendizaje que requiere la resolución de conflictos, diferencias y desacuerdos entre modos opuestos de adaptarse al medio ambiente. Kolb considera, además, que el aprendizaje es un proceso holístico de adaptación, no solo el resultado de la cognición, que resulta de las transacciones sinérgicas entre el individuo y su contexto. Este planteamiento coincide con la opinión de otros autores, como Eric Jensen (2003), uno de los propulsores del llamado "Aprendizaje basado en el cerebro", quien considera que en el aprendizaje participa no solo el cerebro sino que todo el cuerpo con una importante influencia de las emociones.

Kolb (1984) elaboró lo que llamó el ciclo del aprendizaje, una descripción bastante cercana a cómo trabaja el cerebro cuando está aprendiendo. Se propone que el ciclo se inicia a partir de una 1) experiencia concreta, un estímulo sensorial que ingresa por alguno de los órganos de los sentidos que, si consigue pasar lo que los psicólogos llaman "filtros", puede llevar a 2) observación reflexiva, es decir fijamos nuestra atención en el estímulo en cuestión, lo analizamos. Más adelante, aun en ausencia del estímulo original, podemos pensar, buscar explicaciones, elaborar hipótesis, nuevas ideas o planes de acción gracias a la 3)

conceptualización abstracta. Finalmente, ponemos en práctica estos planes a través de la 4) experimentación activa, una respuesta motora que puede servir como estímulo para reiniciar el ciclo, que es más bien un espiral ya que no se vuelve a cero, sino que a niveles superiores de conocimiento. El aprendizaje humano consiste, de acuerdo con Kolb, en adquirir, procesar, comprender y aplicar el nuevo conocimiento.

El ciclo del aprendizaje surge naturalmente de la estructura del cerebro (Zull, 2002): el aprendizaje se inicia con una experiencia sensorial, el cerebro captura esta información, la procesa, la archiva o, al conocerla, la modifica. La experiencia concreta tiene que ver con la actividad de la corteza sensorial y postsensorial posterior y la observación reflexiva corresponde al trabajo de la corteza integrativa temporal, que consolida la información, trasladándola de un banco de memoria de corta duración a otro de larga duración, donde estará almacenada hasta cuando sea requerida en el futuro. Se estima que los estudiantes que optan por aproximaciones más superficiales al estudio utilizan solo esta mitad integrativa posterior de su cerebro. Estos estudiantes se conforman con memorizar datos sin analizarlos y los utilizarán, por ejemplo, para rendir una prueba y pronto los olvidarán. Si, por el contrario, la información es rescatada por la memoria de trabajo, asentada en la corteza integrativa frontal, se reflexionará acerca de la información, se plantearán hipótesis y se generarán nuevas ideas que podrán ser sometidas a la experimentación activa por la corteza motora. Es en este momento en que la experiencia se ha transformado en conocimiento, el cerebro ha aprendido en forma profunda y significativa. Cabe mencionar que, si bien en este ciclo se privilegia la experiencia sensorial, también podemos aprender desde la conceptualización abstracta, es decir solo con el pensamiento. De aquí se desprende que, mientras mejor sea la calidad de nuestros pensamientos, mejor será la calidad de nuestro aprendizaje.

#### **SOLO SE APRENDE LO QUE SE AMA**

En el párrafo anterior se sugiere que hay filtros que pueden impedir o facilitar que la experiencia sea procesada y se transforme en conocimiento. Los filtros más importantes son las emociones. Si la experiencia carece de contenido emocional, si no genera placer o desagrado, no será procesada porque no guarda relación con nuestras vidas. Estamos sometidos a un bombardeo continuo de estímulos sensoriales, imágenes, sonidos, aromas, etc., pero muy pocos captan nuestra atención porque no nos afectan emocionalmente, de modo que se perciben fugazmente y se olvidan en forma casi instantánea. Sin embargo si, por el contrario, se trata de experiencias relevantes del punto de vista emocional, se activará la amígdala y enviará la señal correspondiente al hipocampo para que la experiencia se consolide en la memoria de

larga duración, active los mecanismos de la neuroplasticidad y se produzca el aprendizaje.

El fenómeno de la consolidación de la memoria responde a cambios en las conexiones neuronales del hipocampo que ocurren principalmente durante el sueño. El hipocampo "graba" la información y la envía posteriormente a diferentes sitios de la corteza cerebral donde permanecerá almacenada por un periodo indefinido. El papel de la emociones en el aprendizaje y memoria es trascendental y afecta todas las etapas del ciclo en forma transversal. Según Jesús Flórez (1991), el aprendizaje depende de 4 factores esenciales: la atención, la motivación, la memoria y la comunicación, los cuales son interdependientes, de modo que si falla uno de ellos, el aprendizaje no se producirá. La motivación, en forma particular, es dependiente de la emoción, es la emoción puesta en movimiento. La Neurociencia Cognitiva nos enseña, a través del estudio de la actividad de las diferentes áreas del cerebro que solo se puede aprender aquello que llama la atención y genera emoción. Aquello que es diferente y sobresale de la monotonía. En consecuencia, si queremos que nuestros estudiantes aprendan, tenemos que ser unos buenos gestores de las emociones. Lo que tratamos de enseñar debe, de alguna manera, conectar con las emociones de los estudiantes, con lo que aman, con sus intereses, con sus conocimientos previos, en suma, con sus vidas. Si lo conseguimos, se van a producir las conexiones neuronales en sus cerebros y aprenderán.

#### **¿PUEDE LA FARMACOLOGIA AYUDAR A MEJORAR EL APRENDIZAJE Y LA MEMORIA?**

En la actualidad no existe un fármaco eficaz y seguro que mejore la capacidad de aprendizaje y memoria en personas sanas. Obviamente, las compañías farmacéuticas grandes, medianas y pequeñas están buscando esa droga mágica que permita que nuestro cerebro aprenda en forma instantánea, sin tener que leer, revisar y repasar. La posibilidad de conseguir fármacos con estas propiedades plantearía una serie de problemas éticos. ¿Se sentirán los padres obligados a administrar el fármaco a sus hijos para que sean más exitosos en sus estudios?, ¿Cuánto dinero estaría dispuesto a pagar un padre por una tableta que transformara a su hijo en un brillante alumno? ¿Qué pasará con la gente pobre que no pueda adquirir el fármaco?

Los medicamentos que se comercializan en la actualidad producen en forma temporal una modesta mejoría en la memoria de los pacientes con enfermedad de Alzheimer. Fármacos como el donezepil actúan aumentando los niveles de acetilcolina cerebral, que en los pacientes con esa enfermedad se encuentran disminuidos. Sin embargo, no hay evidencias suficientes que sugieran que esos medicamentos mejoren la memoria en personas sanas

(Beglinger y col, 2004). Una explicación para esta ausencia de eficacia es que el cerebro sano tiene niveles apropiados de acetilcolina y agregar más neurotransmisor no tendría ningún beneficio e incluso puede ocasionar problemas.

Otro enfoque se basa en administrar fármacos que aumenten la atención y la concentración, como el metilfenidato, empleado en el tratamiento del trastorno por déficit atencional con hiperactividad, y el modafinilo, que se usa en trastornos del sueño. La cafeína también aumenta la atención en forma temporal. Sin embargo, no está claro que aumentar la atención más allá de lo normal sea bueno para el aprendizaje. Respecto a otros productos, comercializados como suplementos dietéticos, en base a productos vegetales y vitaminas, tampoco han demostrado científicamente que aumenten las capacidades intelectuales de las personas sanas.

La conclusión es que no existe ninguna píldora que reemplace el arduo esfuerzo que implica el aprendizaje. En vez de malgastar el dinero en fármacos para “estimular el cerebro y aumentar la memoria”, de eficacia y seguridad dudosas, sería más recomendable que las personas sanas aprendieran a la antigua y se dieran el trabajo de estudiar.

#### EL APRENDIZAJE ES EL MEJOR NEUROPROTECTOR

Para proporcionar al cerebro las condiciones en que funcione mejor es necesario conocer su funcionamiento y sus requerimientos. El cerebro necesita mucho oxígeno y energía para desarrollar sus funciones en forma eficiente. El ejercicio aeróbico, al aumentar la irrigación sanguínea de nuestro cerebro, aumenta su oxigenación y favorece la sobrevivencia de nuevas neuronas. Una dieta balanceada, rica en hidratos de carbono, que aporta glucosa al cerebro en forma lenta (a diferencia de las tortas o caramelos), ácidos grasos poliinsaturados, como los omega 3 de ciertas variedades de pescado, favorecen el funcionamiento del cerebro. En cambio, la fatiga, la falta de sueño, las tareas rutinarias, el estrés agudo o crónico, el alcohol, las drogas, la comida chatarra, etc., perjudican notablemente al cerebro.

En consecuencia, en lugar de buscar soluciones fáciles, caras e inútiles, habría que practicar hábitos saludables: el sueño reparador, la alimentación inteligente, la actividad física cotidiana y placentera, el esparcimiento adecuado a la edad, el manejo de las emociones, que incluye el control de las fuentes de estrés, han demostrado, científicamente, que permiten mantener un cerebro en máximo rendimiento, dentro de parámetros normales.

Mucho se ha publicitado la llamada gimnasia cerebral (Brain Gym) o ciertos ejercicios que pueden mantener nuestro cerebro activo y retardar procesos degenerativos,

aunque no han demostrado que aumenten las capacidades cognitivas. Resolver crucigramas, sudokus, etc., pueden volvernos expertos en ese tipo de juegos, pero no nos hacen más inteligentes o talentosos. Esto nos lleva a la conclusión que el principal factor protector de nuestro cerebro es el aprendizaje continuo. El aprendizaje aumenta las conexiones entre las neuronas, aumenta el metabolismo cerebral y la producción de factores neurotrópicos que protegen y reparan las neuronas dañadas, favorece el nacimiento y sobrevivencia de nuevas neuronas y, no menos importante, retarda el envejecimiento.

Finalmente, la comprensión del cerebro no solo puede ayudarnos a responder la pregunta de cómo aprendemos y que podemos hacer para enseñar mejor, sino que puede ser un valioso aporte para mejorar nuestra calidad de vida. Conocerse a sí mismo ha sido considerado como la clave del éxito desde la antigüedad. La mejor manera de conocernos a nosotros mismos es conocer este órgano que es el responsable de todo lo que sentimos, pensamos y hacemos.

#### BIBLIOGRAFÍA:

- Bailey, CH, Chen, M (1988). Long-term sensitization in *Aplysia* increases the number of presynaptic contacts onto the identified gill motor neuron L7. *PNAS* 85: 9356-9357.
- Beginner, LJ, Gads, BL, Kareken, DA, Tangphao-Daniels, O, Siemers, ER, Mohs, RC (2004). Neuropsychological test performance in healthy volunteers before and after donepezil administration. *J. Psychopharmacol.* 18: 102-108.
- Benfenati, F (2007). Synaptic plasticity and the neurobiology of learning and memory. *Acta Biomed.* 78 (suppl 1): 58-66.
- Bliss, TV, Lomo, T (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *J. Physiol* 232: 331-356.
- Chang, FL, Greenough, WT (1982). Lateralized effects of monocular training on dendrite branching in adult aplitbrain rats. *Brain Res.* 232: 283-292.
- Eccles, JC (1965). Possible ways in which synaptic mechanisms participate in learning, remembering and forgetting. In DP Kimble (ed.) *The anatomy of memory*. Palo Alto: Science and Behavior Books, Inc.
- Flórez J, TRoncoso MV (1991). Síndrome de Down y Educación. Síndrome de Down de Cantabria. Barcelona: Masson y Fund.
- Gluck, MA, Mercado, E; Myers, CE (2009). Aprendizaje y memoria. Del cerebro al comportamiento. McGraw Hill, Mexico.
- Greenough, WY, Volkmar, FR (1973). Pattern of dendritic branching in occipital cortex of rats reared in complex environments. *Exper. Neurol.* 40: 491-504.
- Hebb, DO (1949). *The organization of behavior*. Wiley, New York.
- Heisenberg, M, Heusipp, M, Wanke, C (1995). Structural plasticity in the *Drosophila* brain. *J. Neuroscience* 15: 1951-1960.

- Jensen, E (2003). Cerebro y Aprendizaje. Competencias e implicaciones educativas. Madrid: Editorial Narcea.
- Kandel, ER, Castellucci, VF, Goelet, P, Schachet, S (1987). Cell-biological interrelationships between short-term memory and long-term memory. *Research Publications, Association for Research in Nervous and Mental Disease* 65: 111-132.
- Kandel, ER, Schwartz JH, Jessell, TM (1991). *Principles of neural science*, 3rd edition. New York: Elsevier.
- Kolb, DA (1984). *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Kolb, DA (1994). Learning styles and disciplinary differences. In *Teaching and learning in the college classroom*, eds. K.A. Feldman and M.B. Paulsen, pp. 151-164. Needham Heights, MA: Ginn Press.
- Kolb, AY, Kolb, DA (2005). Learning styles and learning spaces: Enhancing experiential learning in higher education. *Academy of Management Learning and Education* 4: 193-212.
- Mora, S (2008). Fundamentos biológicos del aprendizaje. En *Estilos de Aprendizaje (Facultades de Medicina)*, Prensas Universitarias de Zaragoza, España.
- Ramón y Cajal, S (1894). La fine structure des centres nerveux. *Proc. Royal Soc London* 55: 444-468.
- Rosenzweig, MR, Bennett, EL (1977). Effects of environmental enrichment or impoverishment on learning and on brain values in rodents. In A. Oliveno (ed.), *Genetics, environment and intelligence*. Amsterdam: Elsevier/North Holland.
- Sherrington, CS (1897). Part III. The central nervous system. In M. Foster (ed.). *A new book of physiology*. London: Macmillan.
- Souza, DA (2010). How science met pedagogy. In *mind, brain & education*. Souza, DA (Ed), Solution Tree Press, Bloomington, IN, USA.
- West, RW, Greenough, WT. (1972). Effect of environmental complexity on cortical synapses of rats: Preliminary results. *Behav. Biol.* 7: 279-284.
- Zull, JE (2002). *The art of changing the brain*. Sterling: Stylus Publishing LLC, USA.