

Aportes sobre neurociencia y educación

Héctor Correa Griot¹

DOI: <https://doi.org/10.46681/Temas/a2021n7a5>

Resumen

El aprendizaje es considerado una herramienta evolutiva y de supervivencia de los seres vivos. Frente a un ambiente en continua transformación, se generan procesos evolutivos a nivel de la estructura celular del sistema nervioso. Las adaptaciones a nivel sináptico y la selección de grupos de neuronas, permiten la generación de un sistema de complejidad creciente. El aprendizaje y la memoria son eslabones evolutivos indispensables para la generación de nuevas capacidades de adaptación. Las variaciones estructurales que median los mecanismos de aprendizaje, van a modular la expresión de genes regulatorios, permitiendo la transmisión de dichos cambios por mecanismos epigenéticos a nuevas generaciones. La cultura y la educación a través del aprendizaje pueden incidir en los mecanismos de selección de estructuras cerebrales con capacidad de comportamiento ético y reflexivo, con posibilidad de transmisión de generación en generación.

Palabras clave: aprendizaje, plasticidad neuronal, adaptación sináptica, evolución, epigenética.

Abstract

Learning is considered an evolutionary and survival tool for living beings. Faced with an environment in continuous transformation, evolutionary processes are generated at the level of the cellular structure of the nervous system. The adaptations at the synaptic level and the selection of groups of neurons allow the generation of a system of increasing complexity. Learning and memory are essential evolutionary links for the generation of new adaptive capacities. The structural variations that mediate the learning mechanisms will modulate the expression of regulatory genes, allowing the transmission of these changes by epigenetic mechanisms to new generations. Culture and education through learning can influence the selection mechanisms of brain structures with the capacity for ethical and reflective behavior, with the possibility of transmission from generation to generation.

Keywords: learning, neuronal plasticity, synaptic adaptation, evolution, epigenetic.

¹Médico Neurólogo. Miembro de la Sociedad de Neurología. Miembro del Colegio Médico del Uruguay. Participación en el Curso de Formación Permanente a maestros organizado por el Colegio y Liceo Francisco Espínola titulado "Dispositivos pedagógico-didácticos para la enseñanza y el aprendizaje". Docente invitado en el dictado de clase del curso "Profundización en teorías del aprendizaje y del sujeto". Licenciatura en Educación, del Instituto de Educación de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad de la República.

Los comienzos

Estamos inmersos en un momento comparable al salto evolutivo del neolítico en el cual el homo sapiens intercambió genes con el neandertal. La humanidad ha pasado de la imprenta al smartphone y al desarrollo de la inteligencia digital en apenas 500 años.

La evolución implica generar cambios que permiten sobrevivir en ambientes diversos. Para sobrevivir los seres vivos deben ser capaces de reconocer los cambios del medio ambiente y actuar en consecuencia. Pero deben además recordar y aprender. Para comprender el aprendizaje, podemos situarlo en relación a ese sistema nervioso, que significó una ventaja evolutiva de supervivencia y que permitió a la especie mediante el desarrollo filogenético, generar mecanismos de selección y aprendizaje que fueron transmitidos luego de generación en generación.

La vida evolucionó desde el mundo físico-químico al mundo físico-químico-biológico. En algún lugar de ese proceso la necesidad de adaptarse y aprender, determinó la emergencia del sistema nervioso como respuesta de supervivencia. Esta dependió de la capacidad del sistema nervioso de reducir la incertidumbre del entorno, para lo cual surge la capacidad de recibir información de ese entorno, procesarla y luego generar una respuesta, que a su vez es guardada en la memoria.

Aprendizaje

En la base de los mecanismos evolutivos está el aprendizaje, y en la base del aprendizaje se hallan los cambios estructurales. El aprender puede ser entendido como el cambio estructural, generado por cambios en el medio externo. Dichas modificaciones pueden en ocasiones implicar variaciones en los mecanismos de la conducta. (Pozo, 2003). Toda transformación tiene por función la supervivencia del organismo o del grupo, en un entorno incierto. Existe un mecanismo que hallamos en todo el de-

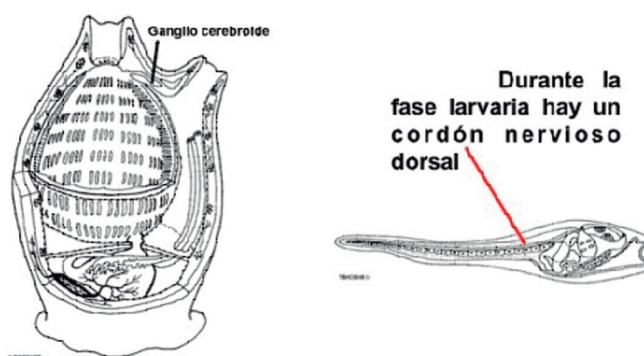


Fig. 1 Fase larvaria de protocordado.

Tomado de <https://litoraldegranada.ugr.es/el-litoral/el-litoral-surgimiento/fauna/cordados-2/tunicados/>

sarrollo filogenético² . Este mecanismo, que se halla en la base de las funciones de todos los seres vivos, se compone de recibir información del entorno, procesar la información nueva, memorizarla y ejecutar una acción. Como ejemplo observamos un organismo denominado protocordado (figura 1) u organismo sin columna (cordis) de hace 800.000 millones de años, que persiste en la actualidad. Su sistema nervioso está compuesto por un agrupamiento de neuronas conformando un primigenio cordón. Dicho sistema le permite en su crecimiento, reconocer un ambiente adecuado para la vida. En este organismo primitivo vemos el desarrollo de las funciones esenciales del sistema nervioso. Luego de recibir información, se genera una respuesta de movimiento para anticipar, elegir ambiente y disminuir la incertidumbre. Dicho sistema nervioso en cuanto cumple su función, es absorbido. Vemos en el escenario evolutivo la emergencia de la plasticidad y flexibilidad de los sistemas biológicos.

La supervivencia del organismo y su grupo, en relación a su sistema nervioso, se apoya en varios mecanismos, entre los cuales se identifican la producción de cambios en su estructura cerebral, la persistencia de esos cambios y la posibilidad de transmitir las nuevas estructuras a las generaciones futuras.

Estos mecanismos pueden agruparse de la siguiente manera: 1) Los cambios intracelulares a nivel de los mecanismos sinápticos, que se hallan en la base de las nuevas capacidades. 2) Los mecanismos de selección de sistemas o grupos neuronales, que prioriza lo que va a constituir la memoria a largo plazo, y el conjunto de saberes que conforman la cultura. 3) La transmisión de dichos cambios mediante los mecanismos epigenéticos, a las generaciones siguientes.

A continuación desarrollaremos los puntos antes mencionados.

1. Cambios a nivel celular

El primer nivel de cambios se realiza a nivel celular. En 1906 Ramón y Cajal describió en “Doctrina de la Neurona” la teoría de que las neuronas eran células cerebrales individuales. Cajal sugirió que en las terminales nerviosas, se hallaban cambios en las conexiones a consecuencia de la actividad neuronal los cuales habilitaban los mecanismos de la memoria.

El psicólogo Donald Hebb(1949), publicó el libro “La organización de la conducta”, reforzando lo señalado por Ramón y Cajal. La propuesta de Hebb lleva por nombre “teoría de la asamblea celular”, teoría pionera sobre las bases neurales del aprendizaje. Esta capacidad se denominó posteriormente plasticidad neuronal. Esta puede verse como la potencialidad de modificación, de adaptación neuronal, que está en

²La filogenética describe la evolución de los seres vivos y su clasificación.

la base de cambios de conductas según las demandas del medio ambiente. (Lerner, 1985).

Según Kandel (2000), sus estudios sobre el gusano llamado aplisia californiana, le permitió demostrar que lo vivido y lo sentido produce modificaciones en los grupos neuronales. Determinó que el aprendizaje genera modulación y variaciones en el flujo de información neuronal.

2. Selección neuronal

Otro nivel de cambios se establece mediante la selección de grupos neuronales, según su utilización y necesidad. Dicha selección se realiza a través de un mecanismo llamado “darwinismo neuronal”, que prioriza grupos y sistemas neuronales, que van a ser almacenados como nueva capacidad. Esto implica que los sistemas que no son útiles ni utilizados tienden a desaparecer. Como ejemplo filogenético recordemos el organismo antes referido (protocordado). Dicho organismo luego de generar un sistema que le permite ubicar un hábitat adecuado, reabsorbe y hace desaparecer dicho sistema. De igual forma, se observa en el desarrollo del sistema nervioso la llamada “poda neuronal”. Al llegar a los 12-13 años se genera una reducción de neuronas y de sinapsis de aproximadamente el 50 % de las neuronas existentes al comienzo de dicha poda. Este proceso comienza por los sectores posteriores del cerebro y culmina en las regiones frontales entre los 18 y los 20 años (Giedd et al., 1990). De la misma forma, en el adulto existe una selección de grupos neuronales que se potencian a favor de conductas o tareas, y grupos que desaparecen si no son estimulados. Existe, por último, otro mecanismo que se basa en reclutar sistemas neuronales que están en reserva, para ser utilizados si son necesarios desinhibiendo sinapsis latentes. (Wall, 1971).

La selección de grupos neuronales permite la generación de estructuras de complejidad creciente. El sistema nervioso evoluciona y en algún momento del desarrollo filogenético y ontogenético emerge la conciencia, y la capacidad de reconocerse, reconocer al otro y generar metarrelatos.

El lenguaje surgió en la evolución, tardíamente. Sus orígenes son hallados en el momento en que el Homo Sapiens, compartió más de 225 genes con el neandertal. Desde el punto de vista neuro-filogenético, esta evolución es acompañada por la cerebración, o sea el aumento de tamaño del cerebro, y luego la corticalización, con la emergencia de la corteza cerebral. La corteza, asiento de los mecanismos que habilitan la emergencia de la conciencia se estructura de forma que permitió a MacLean elaborar la teoría de los tres cerebros: el reptiliano, encargado de las funciones de homeostasis del cuerpo, con mecanismos automáticos; el cerebro emocional, estructura que son el sustrato de las diferentes conductas emocionales, y el neocortex, en la cúspide de la evolución (por ahora...), estructura que habilita la aparición de la conciencia.

La conciencia presenta una serie de capacidades como la percepción, los pensamientos, la memoria, la imaginación, la intencionalidad, el razonamiento causal, la imitación, el lenguaje, la metacognición y las llamadas teorías de la mente o sea la capacidad de atribuir pensamiento e intenciones a otros.

Existen muchas teorías desde las neurociencias sobre cómo el sistema físico-químico en un momento se transforma en mente y se expresa a través de pensamientos. Dicha frontera supuesta entre las estructuras biológicas y la mente no ha sido determinada aún y es la gran frontera por explorar.

En un paradigma emergentista, la conciencia se manifiesta como producto de un entramado de circuitos neuronales con complejidad creciente. Construye hipótesis sobre la causa de la vida y sobre el origen de la psiquis, de la representación y del conocimiento. Es una corriente que acerca la filosofía a la neurociencia. En ese campo hallamos a Edelman (1987), Damasio (1994), Penrose (1994), entre otros.

La memoria, o sea, la capacidad de conservar los cambios a nivel sináptico celular y de circuitos, es imprescindible para la adaptación y el aprendizaje, por lo cual, es una herramienta fundamental de los mecanismos de supervivencia, evolución y generación de la conciencia. La memoria permite una representación interna de nuestras experiencias previas para modificar la conducta futura. De la memoria depende que la vida se experimente como un continuo. Sin memoria, viviríamos sucesos fragmentados y seríamos incapaces de llevar a cabo las tareas más sencillas y la anticipación.

Según Edelman (1987), el ser vivo, para su supervivencia, forma y transmite a través de la herencia, representaciones de categorías de lo vivido, de acuerdo a su utilidad. En su teoría de la selección de grupos neuronales, describe el cerebro como un sistema en evolución, que se reestructura, se adapta a la novedad y se reconfigura continuamente.

El proceso de la memoria tiene como sustrato todo el sistema nervioso, con preponderancia de diversas regiones o sistemas según el tipo de memoria y su procesamiento. Desde el punto de vista de la temporalidad se describe la existencia de memorias de corto plazo y memorias de largo plazo.

La información aportada por los sistemas sensoriales, luego de realizar una sinapsis en el tálamo, es recibida por el hipocampo. Esta estructura que forma parte del sistema nervioso llamado límbico o emocional, es la encargada de relacionar las estructuras del sistema reptiliano con los sistemas más nuevos en la evolución.

La memoria de corto plazo llamada sensorial, es de breve duración, entre 20 y 30 segundos y permanece a nivel del hipocampo el tiempo útil para que pueda ser atendida e identificada de forma que se facilite su posterior procesamiento y almacenamiento. Dentro de las memorias de corto plazo hay una que se destaca por su

importancia, y por ser de reciente aparición en la evolución: la memoria de trabajo, la cual acompaña al desarrollo del lóbulo frontal, y la aparición de las funciones llamadas ejecutivas. Esta es la memoria que está operativa en continua actividad. Se ocupa de identificar los elementos recibidos y jerarquizarlos. Tiene una capacidad limitada, razón por la cual hemos aprendido que es beneficioso el aprendizaje secuencial. Luego de recibir nueva información, darnos tiempo para su procesamiento. Si no lo hacemos, corremos el riesgo de saturar la capacidad de la memoria de trabajo y de incapacitarnos para recibir nueva información.

La memoria de trabajo utiliza los bancos de memoria de largo plazo lo que permite jerarquizar y relacionar los elementos nuevos con conocimientos adquiridos anteriormente. Al referirnos a conocimientos previos, realizamos asociaciones que facilitan el trabajo de dicha memoria. El contexto en que una información es adquirida y relacionada, determina la capacidad de su procesamiento. La memoria de trabajo también se relaciona con áreas del lenguaje y con los sistemas visuo-espaciales. La memoria de corto plazo, está también íntimamente relacionada con el sistema límbico y con el hipocampo.

Las estructuras de la memoria se relacionan con el sistema límbico. En dicho sistema se halla el circuito de Papez, encargado de relacionar el hipocampo con la amígdala, con la corteza entorrinal, con el cortex cingular y el tálamo. Todas estas estructuras son las que habilitan los procesos de emoción, memoria, conducta y aprendizaje. La existencia de estas relaciones explican por qué decimos que aprendemos viviendo.

Vemos la memoria de trabajo como un articulador en los procesos de aprendizaje por sus importantes conexiones con el área hipocámpica, con el circuito de Papez, con regiones corticales y con el área prefrontal. Uno de los componentes de la memoria de trabajo es denominado el ejecutivo central. Es el encargado de asignar recursos atencionales a las operaciones que realizamos. Dicha memoria de trabajo elabora segmentos complejos de información (“chunks”, en inglés) que serán almacenados en la memoria a largo plazo. La memoria de trabajo tiene importantes conexiones con las áreas del lenguaje a través de una estructura denominada “bucle fonológico”. Vemos al lenguaje estableciendo su importancia en los procesos de memoria y en la construcción del pensamiento.

La información es almacenada en la memoria de largo plazo y procesada en circuitos neuronales que abarcan la totalidad del sistema nervioso central. La memoria a largo plazo es mediada por cambios a nivel sináptico y de engramas neuronales y es la que participa de los cambios evolutivos a nivel epigenético.

El conocimiento de los factores que afectan los procesos analizados, nos permite como docentes ser facilitadores de estos. Podemos optimizar los mecanismos de memoria, respetando el tiempo necesario para no sobrecargar a la memoria de trabajo, permitiendo que se potencie por los sistemas de asociación.

Un lugar especial ocupa la estrategia de la repetición. Del conocimiento de los mecanismos neurobiológicos observamos que la repetición tiene importancia, dado que la utilización de un grupo de neuronas, dendritas y espinas, se verá potenciado por la reiteración de su uso.

Nuestro cerebro no es una memoria con base en silicio, sino que es una memoria biológica. Cada vez que un conocimiento es reiterado, se habilita en los sistemas de asociación, el aporte de información nueva, ya sea emocional o de eventos pasados o inclusive de sistemas de valor y de anticipación. Por lo tanto, nunca una repetición será igual a la anterior. Existe una continua reconstrucción y resignificación de los conocimientos. La noción de bucle y de continua remodelación hace que la memoria sea imprecisa y frágil. Esa fragilidad es una gran fortaleza de los seres vivos y les brindan la flexibilidad necesaria para adaptarse al entorno siempre cambiante. Esta misma noción de bucle que interrelacionan las estructuras cerebrales, nos conduce a jerarquizar nuevamente el contexto como reforzador de los mecanismos de memoria y de la atención.

Los sistemas atencionales son antiguos en la evolución, relacionados al medio desconocido y peligroso. La atención es un conjunto de redes de áreas neurales que llevan a cabo operaciones específicas de procesamiento de información. Estas redes están relacionadas especialmente con la detección/selección de objetivos, con la orientación atencional a objetos, posiciones espaciales y/o contenidos de memoria y a la actividad de vigilancia, responsables de nuestra disponibilidad para el procesamiento de la información.

Hemos visto como la memoria es imprescindible para la supervivencia, la adaptación del ser vivo. El desarrollo filogenético nos muestra la aparición de las llamadas funciones ejecutivas. Funciones que con sustento en el lóbulo frontal, permiten la adecuación de los recursos atencionales, intervienen en el mantenimiento de la información "online" (working memory) a través de la memoria de trabajo y elaboran mecanismos de inhibición, planificación y motivación de conductas.

Los mecanismos de la atención y de la memoria son potenciados por el movimiento del cuerpo. Existe una gran interdependencia de áreas motoras del lóbulo frontal y áreas implicadas en el lenguaje. Esta relación entre el lenguaje y la motricidad se ha visto reforzada por hallazgos que muestran que la lectura de palabras que implican movimiento como saltar, correr, avanzar, activan circuitos motores integrados en las funciones superiores. En un experimento realizado (Ballarini, 2013) con alumnos de secundaria, se mostró que una actividad física realizada antes del momento de presentar un tema, mejoró los parámetros de aprendizaje.

La selección de grupos neuronales y de capacidades permitió la aparición del lenguaje. El lenguaje se eleva a un componente prioritario tanto filogenéticamente como desde el punto de vista del desarrollo. El lenguaje en toda su complejidad, habilita la

generación de conductas y hábitos. Participa en la generación de la conciencia de sí mismo, a la par que de la conciencia del otro, así como la capacidad de reflexión, base de la metacognición y del pensamiento crítico.

En la búsqueda de reducir la incertidumbre, surgen por darwinismo neuronal, dispositivos más complejos, especializados en la representación del sí mismo que experimenta, que causa y que narra.

La complejidad le permite elaborar sistemas con capacidad de generar hábitos, empatía y cooperación. La palabra *emphaty* aparece en 1904 como traducción de *einfühlun* creada por Lipss para calificar la capacidad de identificarse con el otro, de sentir lo que siente el otro. Las neuronas espejo del área prefrontal en asociación con las de percepción y de motricidad intervienen en la imitación, en la comunicación, en el lenguaje y en la actividad estética. Las neuronas espejo y su intrincado sistema intervienen en la inhibición de la violencia. Permiten hacer cesar una agresión percibiendo el dolor del otro.

El sistema nervioso es como una orquesta sin director, en una deriva que depende de la interacción de sus estructuras. La conciencia y la generación del pensamiento es constantemente habilitado por la interacción con el medio, para permitir la supervivencia del individuo o del grupo.

El sistema nervioso reestructurándose continuamente, en diálogo constante con el medio, entra en relación con mediadores culturales que pueden habilitar cambios en los sistemas corticales y en el pensamiento. Pero a su vez, el sistema nervioso puede ser considerado un mediador de dichas influencias, a través de su acción sobre el medio. El arte visual, como mediador, permite aumentar la comunicación intersubjetiva simbólica con contenidos emocionales generando un diálogo entre lo observado, el artista y el observador y una síntesis de representaciones y de sentidos. Esto sucede activando neuronas de la corteza temporal y áreas del sistema límbico y pre-frontal.

La música, también, activa los sistemas límbicos, talámico, y la corteza parieto-frontal. Implica los mecanismos de recompensa e interactúa en la comunicación intersubjetiva reforzando los vínculos sociales.

3. Epigenética

Hemos visto hasta aquí, un sistema en continua remodelación, con capacidad de interrelación con el medio que lo rodea, con capacidad de generar estrategias nuevas, de memorizar y de anticipar situaciones. Con capacidad para el error y la flexibilidad. Dichos cambios interactuando con los niveles genético y epigenético, permitirán que el aprendizaje se inscriba en la evolución.

Si se acepta que los genes no cambian, salvo por una mutación accidental, o en el futuro por manipulación genética, ¿cómo podemos hablar de cambios a nivel genético que permitan que lo aprendido se convierta en un eslabón evolutivo? El mecanismo que lo permite es generar cambios, no en los genes estructurales, sino en los genes reguladores. Estos genes se expresan como factores que regulan los genes estructurales.

La epigenética es un término acuñado por Waddington en 1939 para referirse al conjunto de procesos de regulación de la expresión génica, que no incurren en cambios en la secuencia de nucleótidos del ADN y que tienen un carácter heredable. (Waddington, 1956).

Los bits de información aportados por la cultura, se agregan a la información portada por el material genético. Se produce una respuesta adaptativa que puede cambiar en forma permanente la expresión genética. De esta forma, actúa la memoria a largo plazo, que implica cambios estructurales en el núcleo celular en grupos de neuronas y sus sinapsis. La modulación de mecanismos que estabilizan la potenciación de las conexiones sinápticas mediante la síntesis de proteínas, se convierte en un eslabón de la evolución. Estos cambios van a interactuar con los genes reguladores, permitiendo la herencia de conductas innatas y metas de aprendizaje. (Dehaene, 2004).

Los conceptos lamarckianos, descartados por la teoría moderna de la evolución, están gozando de un resurgir con la aparición de las cada vez más complejas teorías epigenéticas de la herencia. La evidencia sugiere que las influencias medioambientales pueden ser heredadas de padres a hijos (enunciado clave de la evolución lamarckiana).

La capacidad de usar un mouse, siempre estuvo en nuestros genes. La aparición del uso del mouse permitió que engramas neuronales con más habilidad para su utilización sean priorizadas en la selección sináptica, y en la selección de factores de regulación. La llamada opción clic, por Battro, (2007), que significa el uso del mouse, probablemente estaba determinada en los genes. El uso de la tecnología digital habilitó su uso y su des-represión, con lo cual es de esperar que en sucesivas generaciones esto se amplíe. Aquellos individuos que presentan en sus genes alteraciones que facilitan el manejo de hipertextos des-regularán la expresión de los mismos en sucesivas generaciones.

La transmisión trans-generacional se ha demostrado en estudios recientes. Serpeloni, F., Radtke, K., de Assis, S. et al. (2017) en poblaciones de favelas en Brasil mostraron que la respuesta al stress traumático puede ser transmitida hasta los nietos. Dichos estudios muestran que la violencia experimentada durante el embarazo puede dar lugar a cambios en el ADN. Mediante metilaciones (mecanismos moleculares de modificación de cadenas de ARN), se producen cambios en el genoma, activando o desactivando genes estructurales. Según este estudio se pueden hallar niños más

agresivos o más temerosos como respuestas de adaptación del comportamiento al entorno.

A modo de cierre, lo indicado precedentemente intenta un acercamiento muestra el lugar que la educación ocupa en este escenario de la evolución cognitiva. Todo lo expresado, nos permite plantear un escenario en el cual el conocimiento del arte, de la filosofía, de los textos literarios, de la poesía y la música, del cuidado del cuerpo, y de los principios éticos, actúe como habilitadores en el desarrollo de grupos neuronales y sistemas de complejidad creciente. Dicho desarrollo permitirá integrar el acervo creciente de lo que llamamos cultura.

El conocimiento del sustrato biológico de la cognición y del aprendizaje puede permitir elaborar herramientas para identificar y habilitar capacidades neuro-cognitivas que se hallen en la base de un pensamiento ético y reflexivo.

Referencias bibliográficas

- Ballarini, F. (2013). Una práctica novedosa mejora la memoria de los niños. <https://www.conicet.gov.ar/una-practica-novedosa-mejora-la-memoria-de-los-ninos/>
- Battro, A. (2007). *Hacia una inteligencia digital*. Buenos Aires: Academia Nacional de Educación.
- Corbella, J. (2016). Homo sapiens y neandertales se aparearon durante decenas de miles de años. <http://www.lavanguardia.com/ciencia/20160217/302236488794/homo-sapiensneandertales-cruce-adn.html>.
- Dehaene, S. (2004). Evolution of human cortical circuits for Reading and arithmetic: the neuronal recycling hypothesis. En Dehaene, S., Duhamel, J. R., Hauser, M. y Rizzolati, G. (Eds.). *From monkey brain to human brain*. MIT Press.
- DzibGoodin, A. (2013). La arquitectura cerebral como responsable del proceso de aprendizaje. *Revista mexicana de neurociencia*, 14(2), pp. 81- 85. <http://previous.revmexneurociencia.com/articulo/la-arquitectura-cerebral-como-responsable-del-proceso-de-aprendizaje/>
- Edelman, G.M.(1987). *Neural darwinism: the theory of neural group selection*. Basic Books.
- Giedd, J., Blumenthal, J., Jeffries, N. et al. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nat Neurosci* 2, pp. 861–863. Recuperado de <https://doi.org/10.1038/13158>
- Hebb, D. (1949). *The Organization of Behaviour, A Neuropsychological Theory*. John Willey and Sons.
- Kandel, E, Schwartz, J, & Jessell, T. (2000) *Principles of neural science*. Mcgraw-hill.
- Lerner, R. M. (1985). Individual and context in developmental psychology: Conceptual and theoretical issues. En Nesselroade, J. R. y Von Eye, A. (Eds.). *Individual development and social change: Explanatory analysis*, pp. 155-183. Academic Press.

- Llinás, R. Churchland. (2006). El continuum mente-cerebro. Procesos sensoriales. Universidad del Rosario. Unibiblos.
- Melian, W, Rosado, J. y Aguado, R. (2005). Plasticidad sináptica duradera (ltp): un punto de partida para entender los procesos de aprendizaje y memoria. Revista Cubana de Informática Médica, N°. 1 Año 5 ISSN, pp. 184-185. http://www.rcim.sld.cu/revista_7/articulo_htm/plasticidad.htm
- Mora, F. (2014). Neuroeducación. Alianza Editorial.
- Penrose, R. (1994). Las sombras de la mente. Crítica.
- Pozo Municio, J. (2003). Adquisición de conocimiento: cuando la carne se hace verbo. Ediciones Morata.
- Ramón y Cajal, R. S. (1954). Neuron Theory Or Reticular Theory? Editorial Madrid: CSIC.
- Ramón y Cajal, R. S. (1933) ¿Neuronismo ó Reticularismo? Las pruebas objetivas de la unidad anatómica de las células nerviosas. Archivos de Neurobiología, 13, pp. 217-291 and pp.579–646.
- Serpeloni, F., Radtke, K., de Assis, S., Henning, F., Natt, D. y Elbert, T. (2017). Grand-maternal stress during pregnancy and DNA methylation of the third generation: an epigenome-wide association study.
- Waddington, C. H. (1956). Introducción a la moderna genética. Ed. Científico-Médica. ISBN 978-84-224-0048-6
- Wall, P., Egger, M. (1971). Formation of new connections in adult rat brains after partial deafferentation. Nature 232, pp. 542-545. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4328622/>