



Aprendizaje, Memoria y Neuroplasticidad

Luis Angel Aguilar Mendoza PhD.

Autores: Grace Espinoza Pardo (1), Enver Oruro Puma (1), Daniel Carrión (1) Luis A. Aguilar Mendoza (1)

(1) Laboratorio de Neurociencia y Comportamiento. Facultad de Medicina Alberto Hurtado. Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú.

luis.aguilar@upch.pe

Resumen

Se aborda las investigaciones y conceptos actuales en neurociencias relacionadas con la cognición, aprendizaje, memoria y neuroplasticidad, que permitan entender mejor los procesos de enseñanza - aprendizaje, cómo enseñar y cómo optimizar éste proceso.

Actualmente los estudios neurocientíficos nos muestran que el proceso de aprendizaje no solamente supone un cambio en el individuo a nivel comportamental, sino también supone cambios a nivel cognitivo y a nivel anatomo-fisiológico del sistema nervioso. Asimismo, aprender requiere memorizar, es decir, el proceso por el cual el conocimiento adquirido se codifica, se almacena y queda disponible para su reutilización en el momento preciso. Estos procesos tienen sus bases en las redes neurales o cónitos paradigma actual de la memoria.

Por otro lado, hablar de neuroplasticidad supone entender claramente el proceso intrínseco del cerebro que se desarrolla debido a la estimulación diaria y las experiencias que se acumulan a lo largo de la vida. La neuroplasticidad es un proceso de adaptación constante, mediante el cual las neuronas consiguen aumentar sus conexiones con las otras neuronas de forma estable a consecuencia de la experiencia, aprendizaje, estimulación sensorial y cognitiva.

Palabras clave: *neurociencias, aprendizaje, memoria, neuroplasticidad , educación, cognición.*



Introducción

La evolución demuestra que el sistema nervioso filogenéticamente aparece en seres vivos que se desplazan de manera activa por su entorno, lo que le permite interactuar con los demás individuos de su especie. Es así que la capacidad de moverse, pensar y aprender, entre otras capacidades de conocimiento, es posible gracias al sistema nervioso en proceso de adaptación.

El sistema nervioso tiene dos tipos de células: las neuronas y las células gliales. La neurona es la célula característica, que tiene la función principal de recibir y transmitir información, mientras que las células gliales cumplen la función de sostén del tejido nervioso, así como otras funciones nutricionales y de facilitación de la comunicación neuronal. Cabe mencionar también que las neuronas tienen una variedad morfológica (hay de diversos tamaños y formas) que se acompañan de una gran variedad de capacidad funcional también; lo que proporciona múltiples posibilidades al individuo, como el de realizar comportamientos distintos y con un alto grado de precisión (Purves y cols., 2003).

En el cerebro existen alrededor de 100 mil millones de neuronas, cada una de ellas se conectada y comunica con otras neuronas. Dicha comunicación se conoce como sinapsis, lo cual se produce entre la neurona que envía información y la que recibe dicha información (sinapsis química o eléctrica). En la sinapsis química, la neurona que envía la información (denominada neurona presináptica) liberan sustancias químicas (que pueden ser neurotransmisores o neuropéptidos), esta sustancia es captada por los receptores de la neurona postsináptica. Es esta unión la que pone en marcha las cascadas de señales químicas que elaborarán una determinada respuesta neuronal en forma de cambios de la neurona postsináptica (Coveñas y Aguilar, 2010). La comunicación sináptica forma una serie de redes neuronales funcionales y estas a la vez circuitos que caracterizan participación de grupos neuronales y áreas con características fisiológicas propias como por ejemplo, circuito de la memoria a largo plazo (VLTP), circuito de papéz, entre otros. Estas redes o cógnitos siguen gradientes filogenéticos, ontogénicos que se organizan en jerarquías de dos tipos: Jerarquía Perceptual donde se encuentra la memoria autobiográfica o episódica, conocimiento semántico con base neurofisiológica en la corteza cerebral posterior y áreas asociativas posteriores y Jerarquía Ejecutiva para realizar los planes de conducta con base neurofisiológica Áreas motora frontales y corteza prefrontal (Fuster, 2010). Este paradigma



reticular (redes neurales y c3ognitos) nos obliga a abandonar los modelos tradicionales “modulares o geogr3aficos” de la memoria cortical y ver las implicaciones en el desarrollo cognitivo, cl3nica de lesiones corticales y rehabilitaci3n del individuo.

Durante mucho tiempo se consider3 que el sistema nervioso era una estructura que anatómica y funcionalmente no sufr3a cambios. Es decir que no se produc3an nuevas neuronas y tampoco nuevas conexiones una vez que el sistema concluyera su desarrollo embrionario. En definitiva, se consideraba que el sistema nervioso era una entidad terminada, posible de mutaci3n o cambio s3lo por lesi3n o *degeneraci3n irreparable por su propia naturaleza*. Esto fue lo que Santiago Ram3n y Cajal plante3. Sin embargo, 3l mismo se asegur3 de decir que s3lo la ciencia se encargar3a de cambiar “*este cruel decreto*” (Álvarez-Buylla y Lois, 1959).

Actualmente, el concepto de neuroplasticidad es la que sustenta la nueva visi3n de que el sistema nervioso se encuentra en constantes modificaciones dinámicas en sus propiedades, en respuesta a cambios en su ambiente. Esta noci3n es fundamental hoy en d3a para comprender las extraordinarias propiedades del sistema nervioso, el cual tambi3n nos permite comprender procesos, aparentemente disímiles, como el de aprendizaje y la recuperaci3n de funciones tras una lesi3n. De acuerdo con el concepto de neuroplasticidad, el sistema nervioso es un producto nunca terminado, es el resultado, siempre cambiante y cambiante, de la interacci3n de factores gen3ticos y epigen3ticos (Clarke y cols., 2010).

Por otro lado, el aprendizaje y la memoria no son procesos puntuales que ocurren en un sitio cerebral determinado, sino que, son estados funcionales para los que se requiere la participaci3n de numerosas estructuras nerviosas y la correcta activaci3n temporal entre ellas. Por ello, el aprendizaje depende del estado motivacional y emocional del individuo que aprende, del grado de atenci3n, de sus conocimientos y habilidades previas, de sus receptores sensoriales, así como del estado de sus m3sculos, en el caso de que se trate de aprendizaje motor.

Adem3s, la memoria, y en consecuencia el aprendizaje, es una de las capacidades intelectuales que requiere del correcto funcionamiento de varias 3reas del cerebro, en parte debido a la variedad de conceptos y actos motores a recordar, así como la relaci3n entre ellos. La experiencia personal refuerza la idea de que no se recuerda con la misma



intensidad, por ejemplo nombres, caras, lugares, etc. Asimismo, aprender y memorizar también requiere de la maduración de las estructuras nerviosas. De hecho, el niño va adquiriendo nuevas habilidades a medida que su cerebro se lo permite. Las áreas del sistema nervioso relacionadas con el movimiento son las primeras en consolidarse, por lo que es más fácil aprender comportamientos motores, como nadar o ir en bicicleta, y también recordarlos a lo largo de la vida (Gruart, 2008).

El aprendizaje y la memoria

El aprendizaje es la capacidad de cambiar la conducta como fruto de la experiencia, permitiendo que un individuo se adapte a nuevas situaciones ambientales y sociales. Así también, aprendizaje se denomina al hecho de que la experiencia produce cambios en el sistema nervioso que pueden ser duraderos y se manifiestan en el comportamiento de los organismos. La memoria, un fenómeno generalmente inferido a partir de esos cambios, da a nuestras vidas un sentido de continuidad. (Morgado, 2005). En conclusión se diría que el aprendizaje es un cambio relativamente permanente en la capacidad de realizar una conducta específica como consecuencia de la experiencia (Klein, 2003).

El hecho que la conducta sea modificable en función de las condiciones ambientales es posible gracias a una compleja serie de procesos que tiene lugar en el interior del organismo. Asimismo, la adaptación de una conducta al ambiente está mediada por procesos perceptivos, cognitivos y de organización motora. Esto significa que el cerebro procesa los estímulos del ambiente, compara el resultado de ese procedimiento con el anterior y organiza la respuesta motora a esos estímulos (Aguado- Aguilar, 2001).

Aunque hayamos indicado en términos de cambios conductuales, el aprendizaje también depende del nivel de complejidad del proceso al que hagamos referencia. Existen formas más elementales de aprendizaje, como la Habitación, propio de los invertebrados (consiste en la reducción de la fuerza de las reacciones reflejas a un estímulo cuando se presenta repetidamente). Esta forma de aprendizaje sí es un cambio conductual. Un ejemplo más complejo, cuando un niño aprende a jugar ajedrez, veremos que la identificación del aprendizaje con un cambio conductual no es clara. ¿Cómo logra aprender el niño? ¿Basa en conocimientos previos, la adquisición de una nueva conducta? ¿La nueva “conducta” adquirida es un hecho concreto o es un conocimiento abstracto?



Aún cuando existan estas dificultades para identificar esos “cambios conductuales” y considerarlo aprendizaje, el investigador siempre basa sus afirmaciones en la observación de conductas manifiestas y, en variaciones medibles en alguna función del individuo. Así nos encontramos, por un lado, con elementos observables como la actuación, y el aprendizaje, como un proceso que se infiere a partir de ello. Es así como la actuación (o aquello que llamamos conducta) es siempre la base empírica en la que se sustentan todas las teorías del aprendizaje.

El estudio experimental del aprendizaje y la memoria se han abordado desde tres niveles distintos, cada uno de estos niveles se complementan para entender mejor estos importantes procesos. El más básico es el nivel neuronal, su finalidad es descubrir los procesos celulares y moleculares físicos y químicos en el cerebro que subyacen al aprendizaje y la memoria. Se estudian los procesos neuronales, vías y centros cerebrales, que intervienen en distintas formas de aprendizaje y memoria. Asimismo, a éste nivel de abordan los mecanismos neuronales por el cual el cerebro es capaz de almacenar información. En éste punto es clave mencionar el concepto de plasticidad neuronal, que se refiere a la capacidad de las neuronas para modificar sus propiedades funcionales en respuesta a ciertas pautas de estimulación ambiental. Las investigaciones de la plasticidad neural en relación con el aprendizaje y la memoria estudian del modo en que el cerebro codifica físicamente nuevas informaciones y constituye uno de los objetivos principales de las neurociencias. El nivel siguiente es el conductual, donde el interés principal es descubrir relaciones entre variables ambientales y cambios observables en la conducta. El método para someter a un análisis experimental dichas relaciones pasa necesariamente por la observación del comportamiento del sujeto y de las modificaciones que éste experimenta bajo diferentes condiciones externas. Finalmente tenemos el nivel cognitivo, en donde se considera al cerebro como un sistema de procesamiento de información, y trata de indagar las actividades de procesamiento que tiene lugar durante el curso del aprendizaje y del modo en que la información queda representada en la memoria (Aguado- Aguilar, 2001).

En el nivel cognitivo, al igual como ocurren en el nivel neuronal, su procesamiento es interno, no son directamente observables como las conductas; y por tanto, se infieren a partir de las observaciones de la conducta que manifiesta el individuo. Los procesos cognitivos como la memoria, la expectativa, el razonamiento y otros, no son observados en



sí mismos, sino que inferidos a partir de las actividades conductuales del individuo. Generalmente, en éste nivel de estudio, cuando se habla aprendizaje y memoria, se estudia el proceso de formación de nuevas representaciones mentales derivados de experiencias pasadas o de las actividades de procesamiento llevadas a cabo sobre los propios contenidos de la memoria, como la recuperación de información, el olvido, entre otros.

El aprendizaje es una capacidad que todas las especies lo tienen, ya que constituye un mecanismo fundamental de adaptación al medio ambiente. Sin embargo, la adquisición de comportamientos para cada especie pueden realizarse mediante formas básicas de aprendizaje, mientras que los comportamientos complejos se adquieren por múltiples combinaciones de estas formas básicas (Gruart, 2008; Morgado, 2003; Aguado- Aguilar, 2001).

El aprendizaje perceptivo es el que permite reconocer las características de un objeto o de una persona. Así podemos reconocer un automóvil por su forma o el ruido que produce su motor. Este tipo de aprendizaje también puede extenderse a aprendizaje motor, cuando el conocimiento del entorno se acompaña de una acción, es decir, cuando a parte de reconocer al auto por su forma y el ruido de su motor, aprendemos a conducirlo. El aprendizaje asociativo requiere de la asociación entre dos estímulos (condicionamiento clásico), o bien la asociación entre una respuesta y sus consecuencias (condicionamiento operante o instrumental).

El condicionamiento clásico fue escrito por Iván Pavlov a partir de una serie de experimentos, donde demostró que se podía asociar un sonido a la presencia de comida, de manera que el perro empezaba a salivar con la sola presencia del sonido y antes de que la comida llegara a su boca. El aprendizaje mediante condicionamiento operante, en cambio, explica cómo se aprende en situaciones concretas; es decir, una determinada conducta es reforzada de forma positiva o negativa, de manera que incremente o disminuya la probabilidad de su ocurrencia. Los refuerzos dependerán de la situación y de las preferencias del individuo, por ejemplo, un niño que participa en clase y es reforzado socialmente, mediante reconocimiento público por la maestra, ante sus compañeros, probablemente, incremente su conducta de participación en las próximas veces.

El aprendizaje relacional es la forma más compleja de los tipos de aprendizaje básico, y éste supone el reconocimiento de objetos, su localización espacial y la secuencia de acontecimientos en una determinada situación. Por ejemplo, no solamente podemos conducir un automóvil, sino que también podemos hacerlo en direcciones diversas y siguiendo las señales de tránsito que se han aprendido previamente.

Aprender requiere memorizar; es decir, el proceso por el cual el conocimiento adquirido se codifica, se almacena y queda disponible para su reutilización en el momento preciso. Por su duración, la memoria se clasifica como sensorial, corto plazo y de largo plazo, si se torna relativamente estable. El paso de una a la otra requiere una fase intermedia entre la memoria a corto plazo y largo plazo, denominada de consolidación, fase que ocurre cuando el individuo duerme. Por su contenido, la memoria es declarativa, o explícita, o episódica, si puede relatarse verbalmente; por ejemplo, la descripción de una serie de sucesos ocurridos en el pasado. La memoria se denomina implícita, o no declarativa, si se muestra a través de actuaciones sin necesidad de relato verbal, por ejemplo, repetir unos pasos de baile. La memoria a corto plazo o retención consciente de una información durante un tiempo breve se basa en cambios efímeros, eléctricos o moleculares, en las redes neurales implicadas. Pero, si como consecuencia de la repetición de la experiencia tales cambios persisten, pueden activar la maquinaria anteriormente descrita y dar lugar a síntesis de nuevas proteínas y cambios estructurales. Esto se considera un indudable diálogo entre los genes y la sinapsis (Gruat, 2008).

Neuroplasticidad

La importancia de las sinapsis en los procesos de almacenamiento de información se ha postulado desde la época de Ramón y Cajal en el siglo XIX y posteriormente en otros trabajos (Hebb, 1949; Matthies, 1978). Estos modelos de la memoria predicen cambios en la eficacia de la transmisión sináptica, en los circuitos neuronales implicados en la adquisición de nuevos contenidos de memoria. Atribuyen, por lo tanto, propiedades plásticas a las sinapsis y rompen con los conceptos iniciales que consideraban a las sinapsis inmutables en sus propiedades funcionales, como puntos de soldadura entre los componentes de un circuito eléctrico (Bergado-Rosado y Almaguer-Melian, 2000).

Plasticidad Sináptica

Don Santiago Ramón y Cajal, fue el primero en proponer la plasticidad en el número y fuerza de las conexiones neuronales como la base física del aprendizaje y el soporte de la memoria. Años después, desde la psicología, Donald Hebb propondría la plasticidad como el mecanismo por el que la coincidencia de la actividad pre y post-sináptica podría modificar las conexiones neurales en determinadas estructuras del cerebro, basado en los trabajos de uno de los discípulos de Cajal, Rafael Lorente de Nó. Esto se puede evidenciar en uno de sus postulados:

“Cuando el axón de una célula A excita suficientemente y de forma repetida (o persistente) una célula B se produce un proceso de crecimiento o de cambio metabólico en una o ambas células, de forma que cambia la eficacia de A sobre su conexión con B” (Donald Hebb, 1948).

Este postulado es una hipótesis de trabajo que indicaba que en la comunicación persistente entre dos o más neuronas existen procesos de crecimiento en una de ellas o ambas. Un cambio metabólico en una o ambas, que incrementa la eficacia de la sinapsis con la actividad, formando circuitos preferentes aquellos que hayan sido activados anteriormente.

Posteriormente, dos investigadores, Lomo y Tim Bliss refrendaron experimentalmente los postulados de Hebb. Descubrieron, que una estimulación de alta frecuencia en una misma vía nerviosa presináptica producía incrementos estables y duraderos de la respuesta postsináptica, el sostenimiento de dicha actividad postsináptica en largo tiempo, fue denominado potenciación a largo plazo (PLP / VLTP). En adelante, estas investigaciones se convirtieron en un modelo mediante el cual se explicaban los mecanismos cerebrales de la memoria y el aprendizaje. En esta misma línea de investigación, se mostraron también que el aprendizaje y la PLP, artificialmente inducidos, producen cambios morfológicos en las espinas dendríticas, lo cual perfilaba un modelo importante para constituir la base estructural de la memoria (Bliss y Lomo, 1973).

Por otro lado, partiendo de los postulados de Hebb, otro investigador, John O'Keefe, mostró hallazgos importantes de cambios morfológicos a nivel de las espinas dendríticas de



las células del hipocampo en individuos que eran sometidos experimentalmente a aprendizajes de mapas cognitivos. Una vez más, éste hallazgo nos muestra que el cerebro y sus conexiones cambian anatómicamente y funcionalmente como producto de la experiencia (O'Keefe y Nadel, 1978).

La actividad neuronal generada por interacciones con el mundo exterior en la vida postnatal proporciona un mecanismo por el cual el medio ambiente puede influir en la estructura y la función del sistema nervioso. Los efectos de la actividad neuronal, generalmente, se traducen a través de vías de señalización que modifican los niveles de calcio (Ca^{2+}) intracelular e influyen así en la organización del citoesqueleto local y en la expresión genética de las neuronas. Esta influencia es más importante durante las ventanas temporales denominadas periodos sensibles o críticos, a medida que procede la maduración de los individuos, el encéfalo se torna cada vez menos sensible a las lecciones de la experiencia, y los mecanismos celulares que modifican la conectividad neural se tornan menos eficaces (Hernandez y cols. , 2004; Morales y cols. , 2003).

Periodos sensibles

Un periodo sensible o crítico es definido como el tiempo durante el cual un comportamiento dado es especialmente susceptible a las influencias ambientales específicas y que requiere de ellas para desarrollarse normalmente (Morales y cols. , 2003).

Los ejemplos más comunes de éste hecho son los relacionados a la visión, audición y el lenguaje. Por ejemplo, niños con cataratas perderán la visión en el ojo afectado (ambliopía), a menos que se les operen antes de llegar a la pubertad (Draw, 1995). De igual forma, el resultado positivo de un implante coclear es más alto cuando la operación se realiza a una edad temprana (Sherma y cols. , 2002). Otros estudios de visualización de la función cerebral indican que la respuesta 'disparada' por notas musicales es mucho mayor en músicos iniciados a temprana edad (Pantev y cols. , 2001). La manifestación notable de plasticidad es la activación de la corteza visual primaria durante la lectura de Braille en ciegos que perdieron la visión en edad temprana (Sadato y cols., 1998).

En todos los casos documentados, tanto en humanos como en animales, el periodo sensible o crítico para inducir cambios corticales termina más o menos con la pubertad. Esta



coincidencia temporal sugiere que los mecanismos de plasticidad son comunes en todas las distintas regiones corticales. Más aún, existe un consenso de que mecanismos similares de plasticidad podrían estar involucrados en el aprendizaje y la memoria en adultos, así como también la mayor capacidad de recuperación después de un trauma durante la infancia (Morales y cols., 2003). De lo anterior se desprende que el esclarecimiento de los mecanismos celulares de plasticidad neuronal en la corteza tiene importantes implicaciones terapéuticas para la restauración de funciones neuronales en el adulto (Ortiz y cols. , 2010).

Como vemos, la experiencia, para que sea efectiva, debe ocurrir en las primeras etapas de la vida o antes de adolescencia acorde con la estimulación. Esto se hace evidente en los estudios sobre la adquisición del lenguaje en los niños sordos y los niños criados en situaciones patológicas. Los estudios de niños que nacieron sordos indican que si no logran estimular con un lenguaje alternativo al hablado, al inicio de la adquisición de esta capacidad, estos irán perdiendo significativamente la oportunidad de desarrollar un mecanismo de comunicación eficaz con los demás. Por otro lado, los estudios de niños que tenían la capacidad de hablar y que perdieron la audición (por alguna lesión), o los niños que conviven con padres que padecen alguna psicopatología (esquizofrenia o psicosis), sufren también una declinación importante en el lenguaje hablado. Suponen, que éste hecho se da, porque estos niños pierden la oportunidad de escucharse a sí mismos y por tanto no perfeccionan su lenguaje por medio de la retroalimentación auditiva durante las etapas finales del periodo sensible para el lenguaje. Estos hechos son explicados, principalmente, de cómo la estructura fonética del lenguaje que oye un individuo durante la vida en fase temprana moldea tanto la percepción como la producción de la palabra (Purves y cols. , 2003).

Otro ejemplo ilustrativo de periodo sensible es la capacidad de aprendizaje de una lengua no materna. Existen estudios que nos muestran que la capacidad para aprender de manera fluida la estructura fonética de una lengua no materna persiste hasta el inicio de la pubertad, en adelante el rendimiento de esta capacidad, gradualmente, va declinando, cualquiera sea el grado de práctica o exposición (Johnson y cols., 1989; Newman, 2002).



Plasticidad Neuronal

La neuroplasticidad es una propiedad del sistema nervioso, lo cual nos indica que el sistema nervioso no está concluido; que cambia dinámicamente en respuesta a la estimulación sensorial, cognitiva o el aprendizaje. Últimamente también se tienen indicios de cambios de recuperación tras una lesión cerebral, después de semanas, meses o años. Esta recuperación está relacionada con crecimiento dendrítico, con la formación de nuevas sinapsis, la reorganización funcional en la propia área vecinas y homólogas del hemisferio contralateral (Gómez- Fernández, 2000).

Así mismo, los mecanismos mediante el cual ocurre el proceso de neuroplasticidad, van desde modificaciones morfológicas extensas como regeneración de axones, formación de nuevas sinapsis, hasta sutiles cambios moleculares que alteran la respuesta celular a los neurotransmisores o neuropéptidos (Nitra y cols., 1993). Otro proceso que permite la neuroplasticidad, es la capacidad de producción de nuevas células nerviosas, en el cerebro adulto de todas las clases de vertebrados (Bergado-Rosado y Almaguer-Melian, 2000).

Los mecanismos de neuroplasticidad son universales, en toda la escala filogenética, los mecanismos basados en patrones de activación y eventos moleculares similares o idénticos participan tanto en la construcción del sistema nervoso durante el desarrollo embrionario, como en su maduración durante la vida postnatal. Hemos visto que este proceso puede darse por medio de sutiles modificaciones funcionales, por ejemplo en el aprendizaje, o mediante procesos de crecimiento axonal, dendrítico y la formación de nuevas sinapsis en respuesta al daño (Lamprecht y LeDoux, 2004; Colvert y cols. , 2008).

Sin embargo, esta capacidad requiere de un requisito indispensable. La plasticidad a nivel neuronal se puede llevar a cabo a partir del reforzamiento de las conexiones ya existentes (Pascual-Leone y cols., 2005). Así también, existen indicios de que la plasticidad neuronal ocurre en muchos sitios del cerebro, generando diferentes mecanismos sinápticos como consecuencia de diferentes normas de aprendizaje (Purves y cols, 2003; Feldman y Brecht, 2005, Coveñas y Aguilar, 2010). Además, la eficacia de la estimulación en la plasticidad cerebral ha sido demostrada en varios grupos; de tales estudios se conoce que la actividad regular y sistemática, así como un ambiente enriquecido y psicológicamente adecuado estimula las conexiones nerviosas, principalmente en el hipocampo (Van Praag, 1999;



Gheusi y cols., 2002). En la misma línea, otros estudios muestran una mejora neurofisiológica luego de un entrenamiento sensorial y cortical en la plasticidad cortical, y además en la mejora del aprendizaje y la memoria tanto en adolescentes como en adultos (Mahncke y cols., 2006)

Por otro lado, hace poco se ha comprobado que en el cerebro de mamíferos adultos se produce un crecimiento continuo de nuevas células, denominados neurogénesis, nos sugieren que este proceso es facilitado por el ejercicio físico y cognitivo (Van Praag, 2008).

A partir de estos estudios actualmente se conoce que, el cerebro que es estimulado a lo largo de toda la vida se desarrolla mejor en distintos parámetros cognitivos, mientras que la privación de estimulación conlleva a consecuencias negativas para el cerebro, de tal forma que dificultan los procesos cognitivos posteriores.

La neuroplasticidad es un proceso mediante el cual las neuronas consiguen aumentar sus conexiones con las otras neuronas de forma estable a consecuencia de la experiencia, el aprendizaje y la estimulación sensorial y cognitiva. Es un proceso intrínseco del cerebro que se desarrolla debido a estimulación diaria y las experiencias que se acumulan a lo largo de la vida.

Referencias

1. Aguado-Aguilar L . (2001). Aprendizaje y memoria. Rev Neurol. ; 32 (4): 373-381
2. Álvarez-Buylla A, Lois C. (1995) Neuronal stem cells in the brain of adult vertebrates. Stem Cells (Dayt) 13: 263-72
3. Bergado-Rosado,J.A., Almaguer-Melian W. (2000). Mecanismos celulares de la neuroplasticidad. Rev Neurol; 31 (11): 1074-1095
4. Coveñas R, L Aguilar.(2010). Avances en Neurociencia. Neuropeptidos Investigacion Basica y Clinica. Fondo editorial UPC. Lima, Perú.
5. Bliss TV, Lomo T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following simulation of the perforant path. J. Physiol ; 232:331-56.
6. Clarke J.R, Cammarota M, Gruart A, Izquierdo I, Delgado-García JM. (2010). Plastic modifications induced by object recognition memory processing. PNAS U S A. Feb 9;107(6):2652-7
7. Colvert E, Rutter M, Kreppner J, Beckett C, Castle J, Groothues C, et al (2008). Do theory of mind and executive function deficits underlie the adverse outcomes associated with profound early deprivation?: findings from the English and Romanian adoptees study. J Abnorm Child Psychol ; 36: 1057-68.



8. Daw N. (1995). Visual development. New York: Plenum Press.
9. Feldman DE, Brecht M. (2005). Map plasticity in somatosensory cortex. *Science* ; 310: 810-5.
10. Fuster J. El paradigma reticular de la memoria. (2010). *rev. neurol*; 50 (supl 3): s3-s10.
11. Gheusi G, Rochefort C.(2002) Neurogenesis in the adult brain. Functional consequences. *J Soc Biol*; 196: 67-76.
12. Goswami Usha (2004). Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 1–14
13. Gómez-Fernández L. (2000). Plasticidad cortical y restauración de funciones neurológicas: una actualización sobre el tema. *Rev Neurol* ; 31 (8): 749-756
14. Gruat Agnés (2008). ¿ Porqué es el cerebro humano tan bueno para aprender y pensar?. Capítulo 15.Pag. 195. *El ser humano*. Biblioteca BenRosch de Divulgación Científica y Tecnológica.
15. Hebb D.O (1949). Organización de la Conducta. Versión castellana de Tomás del Amo Martín. Clásicos de la Psicología. Editorial Debate. Madrid.
16. Hernández S., Mulas F., Mattos L. (2004). Plasticidad neuronal funcional. *Rev Neurol* ; 38:58-68
17. Johnson J.S, Newport E.L (1989). Critical period effects in second language learning: the influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognit Psychol* ; 21: 60-99
18. Klein B. Stephen (2003). *Learning. Principles an applications*. Third Edition. Spring .
19. Lamprecht R, LeDoux J.(2004). Structural platicity and memory. *Nat Rev Neurosci* ; 5: 45-5
20. Mahncke HW, Conor BB, Appelman J, Ahsanuddin AN, Hardy JL, Word RA, et al(2006). Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity based training program: a randomized controlled study. *Proc Natl Acad Sci U S A* ; 103: 12523-8
21. Matthies H. (1986). Principles of neuronal information storage. Theories, methodology, experiments. *Z. Psychol.* ; 194:285-92
22. Morales B. , Rozas C., Pancetti F. Kirkwood A. (2003). Períodos críticos de plasticidad cortical. *Rev Neurol*; 37 (8): 739-743
23. Morgado I. (2005). Psicobiología del aprendizaje y la memoria: fundamentos y avances recientes. *REV NEUROL* ;40:289-297.
24. Newman AJ, Bavelier D, Corina D, Jezard P, Neville HJ (2002). A critical period for right hemisphere recruitment in American sign language processing. *Nat Neurosci* ; 5: 76-80
25. Newman AJ et al (2002). A critical period for right hemisphere recruitment in American sign language processing. *Nature Neuroscience* ; 5: 7680
26. Nitta A, Hayashi K, Hasegawa T, Nabeshima T (1993). Development of plasticity of brain function with repeated trainings and passage of time after basal forebrain lesions in rats. *J Neural Transm Gen Sect* ; 93: 46.
27. O'Keefe John, Nadel Lynn(1978).*The Hippocampus as a Cognitive Map*.Oxford University Press
28. Ortiz T., Poch-Broto J. , Requena C., Santos JM, Martínez A., Barcia-Albacar JA. (2010). Neuroplasticidad cerebral en áreas occipitales en adolescentes ciegos. *Rev Neurol* ; 50 (Supl 3): 519-523.



29. Pantev C, Engelien A, Candia V, Elbert T (2001). Representational cortex in musicians. Plastic alterations in response to musical practice. *Ann N Y Acad Sci* ;930: 300-14
30. Pascual-Leone A, Amedi A, Fregni F, Merabet L.B. (2005). The plastic human brain cortex. *Ann Rev Neurosci* ; 28: 377-401
31. Purves (e) et al (2003). *Neurociencia*. Editorial Médica Panamericana. 3ra edición. España
32. Ramón y Cajal S, May R.T(1959). *Degeneration and regeneration of the nervous system*. Vol. II. New York: Hafner.
33. Sadato N, Pascual- Leone A., Grafman J, Deiber MP, Ibañez V, Hallett M (1998). Neural networks for Braille reading by the blind. *Brain* ; 121: 1213-29.
34. Van Praag H, Christie BR, Sejnowski TJ, Gage FH (1999). Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *Proc Natl Acad Sci U S A* ; 96: 13427-31
35. Van Praag H. (2008). Neurogenesis and exercise: past and future directions. *Neuromol Med* ; 10: 128-40