

**ARTÍCULO DE REVISIÓN**

## **Correlación funcional del sistema límbico con la emoción, el aprendizaje y la memoria**

**Jhan Sebastian Saavedra Torres 1, Wilmer Jair Díaz Córdoba 2, Luisa Fernanda Zúñiga Cerón 3, Carlos Alberto Navia Amézquita, MV. MSc 4, Tomas Omar Zamora Bastidas, MD, Esp, Internista, Neurólogo 5.**

1Estudiante Programa de Medicina, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Cauca, correspondencia: [hipocratesjst@hotmail.com](mailto:hipocratesjst@hotmail.com)

2Estudiante Programa de Medicina, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Cauca, correspondencia: [wilmers26@hotmail.com](mailto:wilmers26@hotmail.com)

3Estudiante Programa de Medicina, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Cauca, correspondencia: [luisazc1009@hotmail.com](mailto:luisazc1009@hotmail.com)

4Profesor Asistente, Departamento de Ciencias Fisiológicas, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Cauca, correspondencia: [canavia@unicauca.edu.co](mailto:canavia@unicauca.edu.co)

5Profesor Titular, Departamento de Medicina Interna, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Cauca, correspondencia: [tzamora@unicauca.edu.co](mailto:tzamora@unicauca.edu.co)

---

### **CORRELACIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA LÍMBICO CON LA EMOCIÓN, APRENDIZAJE Y MEMORIA**

#### **RESUMEN**

Formado por estructuras filogenia y ontogénicamente antiguas donde su corteza, el arquipalio, forma en los mamíferos inferiores su mayor parte, en especies más avanzadas disminuye progresivamente su tamaño y aumenta cada vez el resto de la corteza, el neopalio. La palabra límbico significa borde o margen, el termino sistema límbico era utilizado vagamente para incluir un grupo de estructuras que se ubican en la zona límite entre la corteza cerebral y el hipotálamo.

El Sistema Límbico está formado por una serie de estructuras complejas, que se ubican alrededor del tálamo y debajo de la corteza cerebral. Es el responsable principal de la vida afectiva y es partícipe en la formación de memoria.

En la actualidad se reconoce como resultado de investigación, que el sistema límbico está involucrado (con muchas otras estructuras más allá de la zona límite) en el control de la emoción, las motivaciones, la conducta, la iniciativa, el mantenimiento o supervivencia del individuo o de la especie, la memoria y el aprendizaje.

## CONCLUSIONES

Es importante tener presente que el sistema límbico tiene en el campo de la investigación un objetivo principal y es encontrar inhibidores farmacológicos para evitar el desarrollo de la esquizofrenia y la depresión.

El sistema límbico desempeña un papel fundamental en la arquitectura y en los procesos biológicos como memoria, cognición, aprendizaje, emociones, adicciones y estados de alerta; además, el hombre es un ser esencialmente emocional que logra a través de los filtros emocionales de su cerebro poder llevar a cabo los procesos cotidianos de la vida.

En conjunto el sistema límbico, la amígdala, el hipocampo y la neocorteza son regiones meta del sistema cerebral frontal basal colinérgico (ACh), que está estrechamente relacionado con funciones cognitivas como el aprendizaje y la memoria. El desequilibrio en este sistema motiva a la intervención neurolingüística y la psicopedagógica como parte integral del tratamiento general, buscando en el individuo un uso más efectivo de su cognición y sus emociones.

**Palabras clave:** Sistema límbico, amígdala, hipotálamo, corteza frontal, memoria, corteza prefrontal.

## INTRODUCCIÓN

### GENERALIDADES DEL SISTEMA LÍMBICO

La palabra límbico significa borde o margen y antes el sistema límbico se utilizaba vagamente para incluir un grupo de estructuras que se encuentran en la zona límite entre la corteza cerebral y el hipotálamo.(1)

Ha sido considerado este sistema siempre como un complejo de estructuras de transición situada entre un "primitivo" cerebro subcortical visceral y una cortical más evolucionada. Las estructuras límbicas subcorticales incluyen a la amígdala, los cuerpos mamilares, el hipotálamo, algunos núcleos del tálamo (es decir, anterior, intralaminar y grupos dorsales mediales) y el estriado ventral (es decir, el núcleo accumbens).(2)

El sistema límbico es un grupo interconectado de las estructuras

corticales y subcorticales dedicado a vincular los estados de la emoción visceral con la cognición y el comportamiento. El término "límbico" fue introducido inicialmente por Thomas Willis (1664) para designar una frontera cortical rodeando el tronco del encéfalo (limbo: 'frontera' en latín), recientemente se ha usado con mucha frecuencia, para indicar un número cada vez mayor de las regiones dedicadas a una amplia gama de funciones.(2)

Varios investigadores ahora creen que hay diversos sistemas de almacenamiento de información en el encéfalo. Un sistema se relaciona con el aprendizaje simple de estímulo-respuesta que incluso los invertebrados pueden efectuar hasta cierto grado. Las personas con amnesia retienen esto, junto con el aprendizaje de

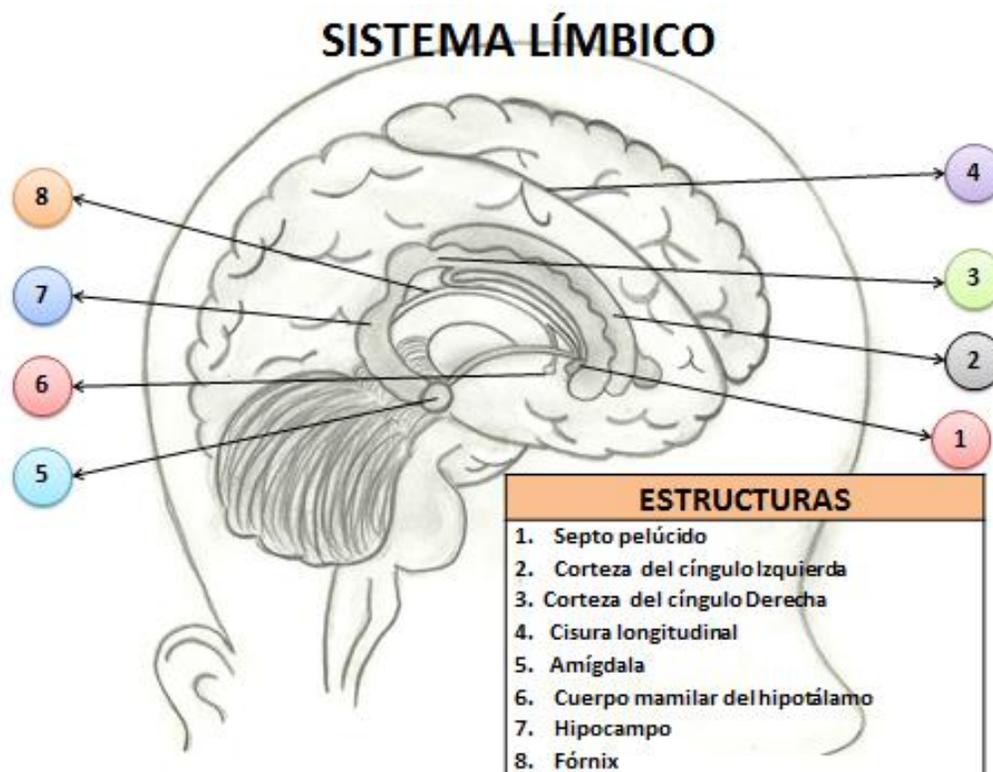
habilidades y diferentes clases de acondicionamiento y hábitos (3).

### COMPONENTES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DEL SISTEMA LÍMBICO

Es importante reconocer las estructuras generales que se han establecido como componentes funcionales, integradas en un sistema denominado límbico.(1)(4)

Este sistema consiste en varias estructuras interrelacionadas que incluyen; la circunvolución cingular (rodea el cuerpo calloso y se encuentra limitada superiormente por el surco calloso marginal), la cisura longitudinal (separa

los dos hemisferios del cerebro), el septum (ubicado en la pared medial del cuerno anterior y cuerpo del ventrículo lateral), el cuerpo mamilar del hipotálamo (situado a cada lado y posterior al túbere cinereum), el fórnix (la cara inferior del cuerpo calloso se ubica en contacto íntimo con el cuerpo del fórnix) (5), el hipotálamo (ubicado debajo del surco del hipotálamo en la pared lateral del tercer ventrículo), la amígdala (ubicada por delante y por encima de la punta del asta inferior del ventrículo lateral) y el hipocampo (ubicado al interior del lóbulo temporal) (6)(1). Ver Figura No. 1.



*Figura No. 1. Componentes estructurales y funcionales del sistema límbico.*

La circunvolución del cíngulo controla las funciones afectivas y cognitivas; el septum está relacionado con las necesidades primarias del cerebro y las sensaciones placenteras (1); el fórnix se encarga de la actividad cognitiva normal por su papel en la formación de la memoria como parte del circuito de Papez, (7) en cuanto a los cuerpos mamilares, intervienen en la captación de impulsos nerviosos procedentes de la amígdala e hipocampo, y del envío a través del tracto mamilotálámico de estos impulsos hacia el tálamo (8).

Primordialmente, se destaca la función metabólica, que se origina después de que la información de un estímulo llega del bulbo olfatorio a la corteza olfatoria y después se dirige al hipotálamo, el cual se encarga de dar respuestas metabólicas (térmicas, vegetativas) y reproductivas.(9)

En cuanto la supervivencia, la amígdala se encuentra facultada para controlar y mediar emociones principales como pasión, tristeza y miedo (10). Finalmente, se le atribuye al hipocampo la función esencial de la memoria a corto plazo (11). Ver Figura No. 2.

La amígdala juega también un papel muy importante en el aprendizaje de las conductas emocionales. Una conducta emocional de gran trascendencia, es el llamado condicionamiento de contexto, que se refiere al aprendizaje de las conductas que empujan al animal a ponerse más frecuentemente en contacto con aquellos estímulos que son importantes para el mantenimiento de la

especie (comida, sexo), aprendiendo a aumentar los contactos con los entornos que le proporcionan una recompensa (nutritiva, sexual o de drogas de abuso) (12).

No se pueden olvidar los núcleos septales que actúan en conjunto con el hipotálamo medial y el hipocampo; esto genera una inhibición del sistema límbico y del estado de alerta, efectos que contribuyen en la memoria y la atención selectiva; estos núcleos regulan los niveles emocionales y de alerta, también mantienen al organismo en estado de quietud, en espera para responder o reaccionar ante un estímulo (13).

Existen estudios experimentales en ratas que determinan que si se hace una lesión en los núcleos septales se produce hiperreactividad y conducta agresiva (14). Uno de los núcleos más estudiados en el sistema límbico es el accumbens, considerado un sistema motivacional que se encarga de:

- La adicción, es considerada como una patología y se asocia particularmente con respuestas emocionales en etapas tempranas del “amor romántico” como la euforia, la atención, el pensamiento obsesivo, la dependencia emocional en un compañero específico (15)(16).
- El apego, determinado genéticamente y que asegura la supervivencia del recién nacido y todas las especies de mamíferos (15)(16).

- La recompensa, se determina como prueba neurobiológica en la vía dopaminérgica mesocorticolímbica; esencial en los mecanismos que impulsan la actividad motora, participa en los mecanismos sensorio motores, motivacionales y de control que inducen al animal a buscar fuentes de gratificación (15)(16).
- El placer, que genera la ingesta de alimentos, drogas y la conducta sexual (15)(16).

| <b>RESPONSABILIDADES DEL SISTEMA LÍMBICO</b>   |   |
|--|---|
| <b>Funciones metabólicas</b>   | <b>Funciones de supervivencia</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación térmica</li> <li>• Funciones vegetativas</li> <li>• Funciones reproductivas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emociones y sentimientos</li> <li>• Ira y odio</li> <li>• Miedo</li> <li>• Pasión y tristeza</li> <li>• Memoria</li> </ul> |
| <b>HIPOTÁLAMO</b>  | <b>AMÍGDALA</b>   |
| Homeostasis del organismo en el desarrollo neuroendocrino y control autónomo.  | Se encarga de las emociones y conductas.  |
| <b>FORMACIÓN HIPOCÁMPICA</b>   |   |
| Esta formación, permite el desarrollo de la memoria.   |   |

*Figura No. 2. Descripción de las funciones del sistema límbico con énfasis en regiones como el hipotálamo, la amígdala y la formación hipocámpica.*

### **EL SISTEMA LÍMBICO EN LAS RESPUESTAS EMOCIONALES Y DE MEMORIA**

Las emociones influyen sobre la memoria, en algunos casos al fortalecer y en otros al obstaculizar, la formación de memoria. La amígdala está involucrada en la mejora de la memoria cuando esta última tiene un contenido emocional (3).

Esto se ilustra por la observación de que los pacientes que tienen daño de ambos núcleos amigdaloides pierden el incremento habitual de la memoria por las emociones. Aunque las emociones fuertes aumentan la codificación de memoria dentro de la amígdala, el estrés puede alterar la consolidación de la memoria por el hipocampo, y las funciones cognitivas y la memoria de

trabajo desempeñadas por la corteza prefrontal (que se comenta a continuación) (3).

Como resultado, el estrés puede promover el almacenamiento de recuerdos fuertes desde el punto de vista emocional, pero obstaculizar la recuperación de esos recuerdos y la memoria de trabajo. A este respecto, los investigadores han demostrado que las personas con trastorno de estrés postraumático a menudo tienen atrofia del hipocampo (3).

No se entienden por completo los mecanismos por los cuales el estrés afecta el encéfalo, pero se sabe que durante el estrés hay aumento de la secreción de "hormonas de estrés" (principalmente cortisol a partir de la corteza suprarrenal; y que el hipocampo y la amígdala son ricos en receptores para estas hormonas. Así, el hipocampo y la amígdala son blancos para estas hormonas, y se ha mostrado que los corticosteroides (incluso el cortisol) suprimen la neurogénesis en el hipocampo (3).

### **Sistema límbico en la emoción**

Todo ser viviente está en constante interacción con el ambiente externo. Son las presiones selectivas que conducen a la evolución de los seres y sus capacidades; no obstante, nuestro sistema límbico trabaja constantemente para regular nuestros actuares (17).

El sistema límbico constituye la región donde se generan las respuestas a los estímulos emocionales, hoy en día los

estudios de este sistema llevan a la psiquiatría a buscar respuestas acerca de la depresión, la demencia senil, la esquizofrenia y los problemas de manía. En este sistema se encuentran centros de recompensa y castigo que permiten al individuo fijar el resultado de las acciones y aprender si son deseables o no (18)(19).

El recuerdo de las consecuencias placenteras, las experiencias y acciones son modulados por la amígdala ya que, si éste se extirpa, se dificulta en gran medida el aprendizaje mediante recompensa y castigo (18)(19).

Son muchas las emociones que podemos experimentar los seres humanos. Algunas han sido llamadas 'emociones primarias', como son el miedo, la ira, la alegría, la tristeza, el disgusto y la sorpresa, emociones que van acompañadas de patrones de conducta tales como respuestas faciales, motoras, vocales, endocrinas y autonómicas, hasta cierto punto estereotipadas y que son reconocibles por encima de diferencias culturales y raciales en los seres humanos (12).

Distinguimos también otras muchas emociones, como la envidia, la vergüenza, la culpa, la calma, la depresión y muchas más, que se denominan 'emociones secundarias', con un componente cognitivo más alto y que van además siempre asociadas a las relaciones interpersonales (12).

Unas y otras constituyen sin duda parte esencial de nuestra vida, a la que confieren color y carácter. Más aún, la alteración de los sistemas neurales de los que dependen las expresiones emocionales, provoca grandes trastornos de conducta. La mayoría de las enfermedades psiquiátricas son, sobre todo, alteraciones en el modo de experimentar las emociones (12).

Se presenta el sistema límbico como el encargado de regular la expresión de las respuestas emocionales, asociados a este sistema se despliegan los Generadores de Patrones Centrales (cadenas neuronales capaces de generar patrones rítmicos de actividad motora) los cuales inician y controlan la actividad de los músculos faciales, generando una respuesta estereotipada y conservadora ante un estímulo específico (10).

Distintos trabajos han tratado de mostrar cuáles son las estructuras cerebrales implicadas en la conducta emocional. Clásicamente se entendía que la vida emocional dependía de las estructuras que formaban el sistema límbico, recibiendo una atención especial la amígdala y el hipotálamo (20).

En los últimos años también se ha visto que otras estructuras corticales se encuentran implicadas en la emoción, como es la corteza prefrontal, que es la parte más anterior de la corteza cerebral, ubicada en la parte inmediatamente anterior a la corteza motora y premotora, ocupando la porción más grande de los

lóbulos frontales. En este sentido, a dicha región cerebral se le ha atribuido una función importante relacionada tanto con la experiencia como con la expresión emocional (20)(21).

Las estructuras de la corteza frontal junto con el sistema límbico, procesan los estímulos emocionales y los integran a funciones cerebrales complejas, las cuales incluyen: decisiones racionales, expresión e interpretación de conductas sociales e incluso la generación de juicios morales, entendiéndose estos últimos como los actos mentales que afirman o niegan el valor moral frente a una situación o comportamiento (10).

Estructuras neuroanatómicas que están vinculadas con la emoción (12):

- Lóbulo temporal
- Cuerpo calloso
- Giro parahipocampal
- Circunvolución del cíngulo
- Corteza orbitofrontal
- Áreas 10, 11 y 47 de Brodmann
- Área septal

Otro aspecto esencial en el entendimiento de las emociones es la implicación del sistema límbico; tal como resume Palmero (1996), en el estudio de la emoción, existe una consideración clásica respecto al control jerárquico que las estructuras neurales superiores ejercen sobre las estructuras inferiores, de tal modo que los procesos cognitivos configuran los procesos emocionales (22).

Esta aproximación plantea la existencia de un eje unidireccional “de arriba hacia abajo” en virtud del cual los procesos cognitivos superiores de ambos hemisferios determinan la naturaleza de la experiencia emocional (22).

El sistema para la emoción y para la memoria episódica implica en gran medida diferentes estructuras cerebrales y conexiones (23). Hay evidencia de que existen diferentes sistemas en el cerebro para la emoción y la memoria, cada uno involucra estructuras límbicas, pero no se puede determinar a las acciones del sistema límbico como si este fuera uno solo, podría llamarse "sistema límbico emocional" al que abarque la emoción, y para el sistema de la memoria "sistema límbico de memoria", se han encontrado componentes no límbicos en ambos sistemas que pueden participar en los procesos cerebrales (24).

Estudios clínicos de amnesia sugieren que varias regiones del encéfalo están involucradas en el almacenamiento y la recuperación de la memoria. Se ha encontrado que la amnesia se produce por daño del lóbulo temporal de la corteza cerebral, el hipocampo, la cabeza del núcleo caudado (en la enfermedad de Huntington), o la parte dorsomedial del tálamo (en alcohólicos que sufren síndrome de Korsakoff con deficiencia de tiamina). Varios investigadores ahora creen que hay diversos sistemas de almacenamiento de información en el encéfalo. Un sistema se relaciona con el aprendizaje simple de estímulo-respuesta

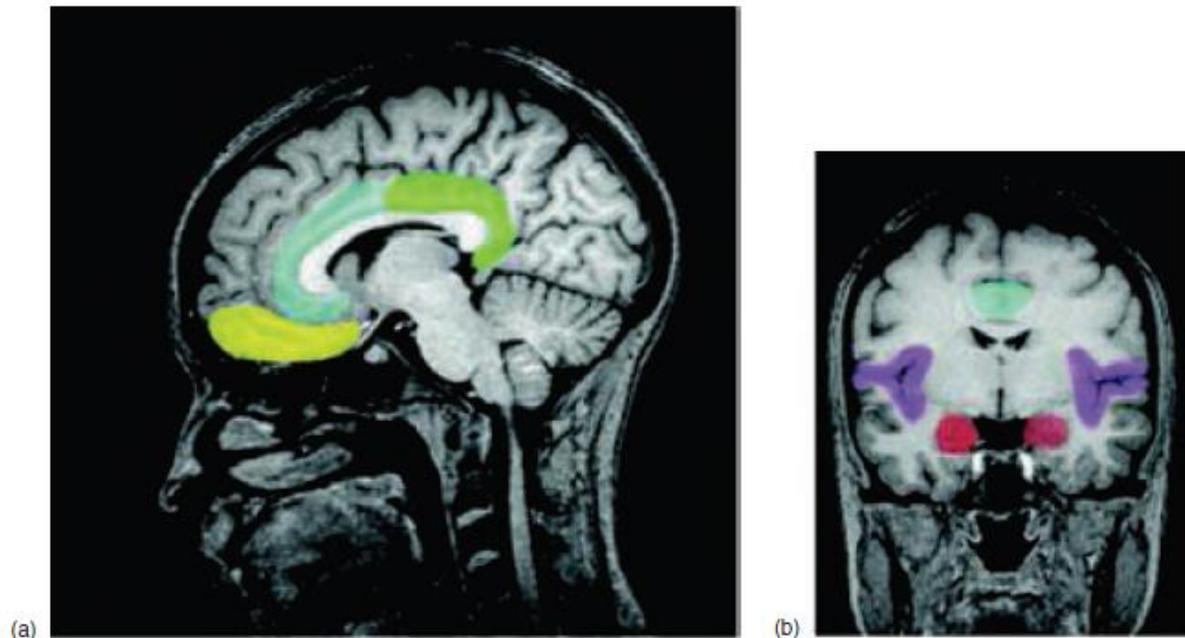
que incluso los invertebrados pueden efectuar hasta cierto grado. Las personas con amnesia retienen esto, junto con el aprendizaje de habilidades y diferentes clases de acondicionamiento y hábitos (3). Ver Figura No. 3.

### **Sistema límbico en la memoria**

La memoria es una función importante que permite al organismo codificar (25), almacenar y recuperar información del medio ambiente para que sea potencialmente útil (17), se relaciona con el órgano central que es el cerebro, el cual en el momento de activarse, crea interacciones y relaciones anatómicas (26)(12).

Coexisten algunos enlaces del sistema emocional en el sistema de memoria presente, porque muchas veces un estado emocional hace parte de una memoria episódica; sin embargo, cuando trabaja la memoria, se debe incluir en lo que se recuerda un estado emocional. Estos conceptos son importantes no solo dentro de la neurociencia, sino también para el campo de la neurología (24).

Una de las pruebas que contradice la idea de presentar la memoria como un sistema unitario proviene de los estudios neuropsicológicos documentados con pacientes de síndrome amnésico, los cuales rendían de forma totalmente diferente en distintas tareas de memoria (27). A partir de estos y otros datos empíricos, los teóricos empezaron a tener presente la existencia de dos o más “memorias” (28).



**Figura No. 3.** Algunas áreas del encéfalo involucradas en la emoción. a) El área orbitofrontal de la corteza prefrontal se muestra en color amarillo, y la circunvolución cingulada del sistema límbico se muestra en color azul-verde (porción anterior) y verde (porción posterior). b) La ínsula de la corteza se muestra en color púrpura, la circunvolución cingulada anterior del sistema límbico en color azul-verde, y la amígdala en color rojo. Reimpresa con autorización de RJ Dolan, *SCIENCE* 298:1191-1194. Copyright 2002 AAAS, figura 2 (primer y tercer paneles).

Resaltaremos cuáles estructuras neuroanatómicas están vinculadas con la memoria; se recomienda a los estudiantes de ciencias de la salud tenerlas en cuenta porque existen diversos trastornos de la memoria que pueden implicar estas estructuras:

- Corteza prefrontal
- Áreas de asociación sensoriales
- Corteza parahipocámpica
- Hipocampo – amígdala
- Fórmix
- Cuerpos mamilares

- Tálamo
- Corteza cingulada
- Hipotálamo
- Amígdala
- Cuerpos mamilares

La influencia del hipotálamo y el tálamo, los núcleos anteriores y dorsomediales del tálamo, los cuerpos mamilares y dos haces de fibras relacionados: el haz mamilotalámico, que conecta el complejo hipocámpica medial con los núcleos anteriores del tálamo, y la vía amígdalofugal que conecta la amígdala

con los núcleos dorsomediales; crea la participación extensa y compleja que desarrolla el cerebro para codificar y crear lo que denominamos memoria (28).

### **Diferentes fases o etapas de la memoria**

La memoria ha sido clásicamente descrita como un sistema que procesa la información sensorial en diferentes fases o etapas, íntimamente interrelacionadas: codaje, almacenamiento y recuperación (25).

**El encodaje:** es el proceso mediante el cual una información de origen perceptivo es transformada en una representación más o menos estable y asociada, en mayor o menor grado a otras representaciones mnésicas ya almacenadas (25).

**Almacenamiento:** la información o representación es guardada en diferentes modalidades.(25)

- Verbal
- No verbal
- Episódica
- Semántica

En estas modalidades busca el cerebro guardarlas relativamente estables o permanentes.

**Recuperación:** en esta fase la información es activamente evocada y puesta a disposición de otros sistemas cognitivos y del comportamiento (25).

El almacenaje es principalmente dependiente del hipocampo y sus conexiones diencefálicas, mientras que la recuperación y el encodaje son dependientes de estructuras prefrontales (25).

### **CAMBIOS SINÁPTICOS EN LA MEMORIA**

La memoria a corto plazo puede comprender el establecimiento de circuitos recurrentes (o reverberantes) de actividad neuronal. Es aquí donde las neuronas hacen sinapsis entre sí para formar una vía circular, de modo que la última neurona en activarse, a continuación estimula la primera neurona (3).

Así, un circuito neuronal de actividad recurrente, o reverberante, puede mantenerse durante un periodo. Estos circuitos reverberantes se han usado para explicar la base neuronal de la memoria de trabajo, la capacidad para mantener un recuerdo (por ejemplo, de una lista para el supermercado) en mente durante un periodo relativamente breve (3).

Dado que las descargas eléctricas electroconvulsivas no destruyen la memoria a largo plazo, parece razonable concluir que la consolidación de la memoria depende de cambios relativamente permanentes en la estructura química de neuronas y sus sinapsis (3).

Experimentos sugieren que la síntesis de proteína se requiere para la consolidación del “rastreo de memoria”. La naturaleza de los cambios sinápticos comprendidos en el almacenamiento de memoria se ha estudiado usando el fenómeno de potenciación a largo plazo (LTP) en el hipocampo. La LTP es un tipo de aprendizaje sináptico, por cuanto las sinapsis que se estimulan primero a frecuencia alta después mostrarán excitabilidad aumentada (3).

La potenciación a largo plazo se ha estudiado de manera extensa en el hipocampo, donde la mayor parte de los axones usa glutamato como neurotransmisor. Aquí, la LTP se induce por la activación de los receptores NMDA para glutamato. Al potencial de membrana en reposo, el poro de NMDA está bloqueado por un ion  $Mg^{2+}$  que impide la entrada de  $Ca^{2+}$ , incluso en presencia de glutamato (3).

Para que el glutamato active sus receptores NMDA, la membrana también debe quedar parcialmente despolarizada, lo que hace que el  $Mg^{2+}$  abandone el poro. Esta despolarización puede producirse por unión de glutamato a sus receptores AMPA, o en respuesta a un neurotransmisor diferente. En estas condiciones, el glutamato hace que el  $Ca^{2+}$  y el  $Na^{+}$  se difundan a través del canal de NMDA hacia la célula (3).

El  $Ca^{2+}$  que entra a través de los receptores NMDA se une a la calmodulina, una proteína reguladora

importante para la función de segundo mensajero del  $Ca^{2+}$ . Este complejo de  $Ca^{2+}$  - calmodulina a continuación activa una enzima previamente inactiva llamada CaMKII (proteína cinasa II dependiente de calmodulina). La CaMKII hace que receptores AMPA para glutamato se muevan hacia la membrana plasmática de la neurona postsináptica (3).

Esto fortalece la transmisión en estas sinapsis; a continuación, una cantidad dada de glutamato liberada a partir de la terminal de axón presináptica produce una mayor despolarización postsináptica (EPSP). De cualquier modo, el aumento de la concentración de  $Ca^{2+}$  también causa cambios a plazo más largo en la neurona postsináptica. Estos cambios más persistentes necesarios para la plasticidad sináptica y la formación de recuerdos a largo plazo requiere la activación de proteínas que estimulan la transcripción genética (producción de mRNA), lo que lleva a la formación de nuevas proteínas (3).

En parte, las nuevas proteínas pueden necesitarse para la producción de extensiones parecidas a espina desde las dendritas llamadas espinas dendríticas. Las neuronas piramidales (un tipo de neurona característica de la corteza cerebral, el hipocampo y la amígdala) tienen miles de espinas dendríticas, donde se produce la mayor parte de los EPSP en respuesta al glutamato (3).

Se ha observado que las espinas dendríticas se agrandan y cambian de

forma durante LTP, y esos cambios así como la inserción de receptores AMPA adicionales hacia las espinas tal vez promuevan una mejora prolongada de la transmisión sináptica (3).

En algunos casos, la LTP también cambia en el axón presináptico. Estos cambios promueven un aumento de la concentración de  $Ca^{2+}$  dentro de las terminales de axón, lo que lleva a mayor liberación del neurotransmisor mediante exocitosis de vesículas sinápticas. La liberación aumentada de neurotransmisor durante LTP puede producirse por la liberación de moléculas mensajeras retrógradas, las producidas por dendritas que viajan en dirección retrógrada hacia las terminales de axón presinápticas (3).

Hay evidencia de que el óxido nítrico (NO) puede actuar como un mensajero retrógrado de esta manera, lo que promueve LTP al aumentar la cantidad de glutamato liberado a partir de la terminal de axón presináptica. La neurona postsináptica también puede recibir aferencias desde otras neuronas presinápticas, muchas de las cuales pueden liberar GABA como un neurotransmisor. Por medio de la liberación de GABA, estas neuronas inhibirían la neurona postsináptica (3).

Ahora hay evidencia de que la liberación de GABA y así, la inhibición de la neurona postsináptica, puede estar reducida por otro mensajero retrógrado producido por la neurona postsináptica. El mensajero retrógrado en este caso es un

endocannabinoide, un tipo de neurotransmisor lípido (3).

La liberación de los endocannabinoides desde la neurona postsináptica es estimulada por despolarización, que se produce en una sinapsis excitadora por unión de glutamato a sus receptores en la neurona postsináptica. Los endocannabinoides entonces suprimen la liberación de GABA en una sinapsis inhibitoria diferente. Este proceso, llamado supresión de la inhibición inducida por despolarización, quizá también contribuya al aprendizaje sináptico de LTP (3).

### **CAPACIDAD DE APRENDIZAJE, RELACIÓN DIRECTA CON EL ESTADO EMOCIONAL DEL SUJETO**

El hombre es un ser esencialmente emocional (29); el ser humano no ve ni logra sentir, sino es a través de los filtros emocionales de su cerebro. La etimología de la palabra emoción en esencia es el movimiento, la expresión motora que se realiza a través de la conducta, sea este lenguaje corporal o verbal. Sin embargo, en 1872 Charles Darwin ya señalaba que las emociones también constituyen un lenguaje; un poderoso instrumento de comunicación utilizado por casi todas las especies animales, sin excluir al hombre (30).

Nuestra capacidad de aprendizaje depende no solo de cuanta atención se le preste al suceso, sino también del estado emocional del sujeto; pues se recuerdan

con mayor frecuencia eventos asociados con situaciones alegres, tristes o dolorosas determinadas. Estos estados mentales están asociados con la liberación de los neuromoduladores, tales como la acetilcolina (en situaciones de atención máxima), dopamina, noradrenalina y hormonas esteroides, tales como el cortisol (durante procesos nuevos, situaciones de estrés o ansiedad) (26).

Existen correlaciones positivas entre el rendimiento académico y la inteligencia emocional. (31) El desequilibrio en este sistema muchas veces ocasiona un desbalance entre las emociones, aprendizaje y memoria (32)(33).

Lo que motiva a la intervención neurolingüística y la psicopedagógica como parte integral (32)(33) del tratamiento general; inclusive para los casos más severos integrando y condicionando al individuo, al mejor desarrollo de sus capacidades buscando un uso más efectivo de su cognición y sus emociones (22).

Es significativo considerar los procesos de inteligencia emocional, basado en la

intervención módulo a módulo de la programación neurolingüística, empleado como una ayuda hacia el individuo en procesos de autosugestión, fundado en la relación de su entorno con un adecuado uso de la conciencia social, lo cual conduce e interpreta de manera eficaz los estímulos y su lenguaje, del mismo modo se proyecta el conocimiento interior y la adecuada concepción del grupo de trabajo como una articulado para el desarrollo de diversos proyectos además de la inclusión social (34)(35).

Cuando el sistema límbico se halla en desequilibrio compromete los procesos de motivación y su conexión con el aprendizaje variando entre evidentes irritaciones, miedo o emotividad intensa y fallas en el entorno académico, dada la relevancia de las emociones en la interacción del individuo con su medio y su desempeño académico (34). En primeras instancias requieren de tratamiento psiquiátrico, este aunque es el primer apoyo, no debe ser el único por consiguiente, es solo un escalón del trabajo interdisciplinario (31).

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad del Cauca y al Departamento de Morfología.

## **CONFLICTO DE INTERESES**

Ninguno declarado por los autores.

**FINANCIACIÓN**

Ninguna declarada por los autores.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Richard S. Snell. Neuroanatomía clínica de Snell. séptima. Barcelona, España: Wolters Kluwer; 2010.
2. Marco Catania., Flavio Dell'Acqua. MT de S. A revised limbic system model for memory, emotion and behaviour. *Neurosci Biobehav Rev.* Elsevier Ltd; 2013 Sep;37(8):1724-37.
3. Stuart Ira Fox. Fisiología Humana. 12a EDICIÓN. MCGRAW-HILL, editor. MÉXICO: The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, N.Y., U.S.A.; 2011.
4. Guyton. H. Tratado de fisiología médica. Décimo ség. ESPAÑA: Elsevier; 2011.
5. Bryan Kolb. IQW. Neuropsicología humana. Quinta. Argentina: Panamericana; 2006.
6. André Parent., Malcolm B. Carpenter. *Carpenter's Human Neuroanatomy*. Novena. 1996.
7. Francesc Palmero. Aproximación biológica al estudio de la emoción. *An Psicol.* 1996;12(1):61-86.
8. L. J. Santín., S. Rubio., J. M. Cimadevilla., A. Begega. JLA. Memoria espacial y cuerpos mamilares. *Escritos Psicol.* 1997;(1):70-81.
9. Juan Felipe Correa. DIMR. Vías de la emoción y la inhibición de la neocorteza cerebral. *CES Mov y Salud.* 2013;1(1):52-60.
10. David Iñaki López Mejía., Azucena Valdovinos de Yahya., Mónica Méndez-Díaz. VM-F. El Sistema Límbico y las Emociones : Empatía en Humanos y Primates. *Psicol Iberoam.* 2009;17(2):60-9.
11. Daniel Goleman. Como creció el cerebro: inteligencia emocional. Primera. Vergara; 2004.

12. Carlos Belmonte Martínez . Emociones y cerebro. RevRAcadCiencExactFísNat (Esp). 2007;101(1):59–68.
13. Andrés Antonio González Garrido. JRL. La atención y sus alteraciones: del cerebro y la conducta. Primera. México: El manual moderno; 2006.
14. Diego Redolar Ripoll. Cerebro y adicción. Primera. Barcelona: UOC; 2008.
15. Martín Bustos M. Núcleo accumbens y el sistema motivacional. Rev chil neuro-psiquiat. 2008;46(3):207–15.
16. E. Fernández-Espejo. ¿Cómo funciona el nucleus accumbens? Rev neurol. 2000;30(9):845–9.
17. Jacinto Azevedo, JM Soares-Fortunato. ASR. Memória. Rev Port Psicossomática. 2003;5(2):57–70.
18. Cuenca EM. Fundamentos de Fisiología. Thomson. Editores IT, editor. España; 2006.
19. Ignacio Morgado Bernal. Emoción, Recompensa y castigo. Cons Super Investig Científicas. 1999;640(1):523–32.
20. Juan Pedro Sánchez -Navarro. FR. Amígdala, corteza prefrontal y especialización hemisférica en la experiencia y expresión emocional. Serv Publicaciones la Univ Murcia. 2004;20(2):223–40.
21. Allegri R.F. HP. La corteza prefrontal en los mecanismos atencionales y la memoria. vista Neurol. 2001;32(5):449–53.
22. Victoriano Ramos Linares., José Antonio Piqueras Rodríguez., Agustín Ernesto Martínez González., Luis Armando Oblitas Guadalupe. Emoción y Cognición: Implicaciones para el Tratamiento. Soc Chil Psicol Clínica. 2009;27(2):227–37.
23. L. Aguado-Aguilar. Aprendizaje y memoria. Rev neurol. 2001;32(4):373–81.
24. Edmund -T Rolls. Limbic systems for emotion and for memory, but no single limbic system. Oxford Centre for Computational Neuroscience. Elsevier Ltd; 2013 Dec p. 2,7,9,11,12,15,16.
25. Jorge Nogales Caete. AD. Tratado de Neurología Clínica. Primera. Universitaria, editor. Santiago de Chile: Editorial Universitaria; 2005.

26. Richard Morris. MF. La ciencia del cerebro una introducción para jóvenes estudiantes. In: Buildings TS, editor. La Asociación Británica de Neurociencias. Primera. Liveerpool; 2003.
  27. J. Castaño. Aportes de la neuropsicología al diagnóstico y tratamiento de los trastornos de aprendizaje. Rev Neurol. 2002;34(1):1-7.
  28. Nina Gramunt Fombuena. Normalización y validación de un test de memoria en envejecimiento normal, deterioro cognitivo leve y enfermedad de Alzheimer. Ramon Llull (Barcelona); 2010. p. 6-9 - 12-3 - 14-5 - 16-8 - 19.
  29. Jose Luis Diaz. La nueva Faz de la emoción aspectos y niveles de la investigación sentimental. Salud Ment. 1990;13(4).
  30. Mora Francisco. El cerebro siente. Cons Super Investig Científicas Licenc Creat Commons 30 España (by-nc. 1999;640(1):435-50.
  31. Rafael Bisquerra Alzina. Orientación psicopedagógica y educación emocional en la educación formal y no formal. Univ barcelona.
  32. Everlides Mejía Mejía. Progración Neurolingüística como estrategia de diagnóstico en el rendimiento de matemática y física. Univ Rafael Belloso Chacín. 2007;2:90-108.
  33. Rafael Bisquerra Alzina. Orientación psicopedagógica y educación emocional. Estud sobre Educ. 2006;11:9-25.
  34. Mónica Sánchez Latorre. Impacto de la inteligencia emocional en el rendimiento académico de un grupo de estudiantes de la ESO. Universidad internacional de la rioja; 2012. p. 1-59.
  35. José María Acosta. Programación neurolingüística e inteligencia emocional. Primera. Amat; 2013.
-