

NEUROQUIMICA DEL APRENDIZAJE Y MEMORIA MUSICAL¹

NEUROKIMICS OF LEARNING AND MUSICAL MEMORY

Raúl Ibarra Ovando²
México

Para Arafat - estrella fugaz -

"1840 - Franz Liszt fue el primer pianista virtuoso que ofreció un recital integro de memoria".

"En comparación con los no - músicos, los músicos profesionales presentan diferencias en la estructura de la substancia blanca cerebral. El entrenamiento musical a largo plazo muestra fuertes relaciones con la estructura y plasticidad de la substancia blanca (Ullen, F. 2009)".

Fundamentos neuroanatomicos

El aprendizaje y memoria musical involucran tanto la: 1.memoria declarativa (consciente, disponible): formada por la vida cotidiana, palabras, terminología musical (nombre de las notas, de la canción, etc.), 2.la memoria no declarativa (de procedimiento, no consciente): sensibilización, aprendizaje asociativo, habilidades motoras, respuesta emocional, 3.las capacidades y hábitos. A grandes rasgos la memoria se divide en: A) inmediata: formada por las sensaciones, interviene en el aprendizaje, B) corto plazo: se realiza en la zona retentiva y C) largo plazo: la memoria a largo plazo, a su vez se divide en declarativa o explícita: hechos y eventos -lóbulo temporal y diencefalo medial; no declarativa o implícita: procedimental (habilidades y hábitos): núcleo estriado, priming y aprendizaje perceptual: neocorteza y condicionamiento clásico: a) respuestas emotivas: amígdala, b) respuestas motoras: cerebelo y 4.aprendizaje no asociativo: vías reflejas

Recibido el 25 de septiembre y aceptado el 03 de octubre de 2016. E-mail:
willshak5280@yahoo.com.mx

Ibarra-Ovando R.
2015
Título del artículo *E-Magazine*
Conductitlán.
3(1) 46-61.
Diciembre-Mayo

Hugo Solís nos dice: "aprendizaje: es el fenómeno neurobiológico por el cual adquirimos una determinada información. Por este proceso obtenemos el conocimiento sobre el mundo, y para que se de este fenómeno son esenciales la atención, memoria, motivación y comunicación; la atención: es la capacidad de enfocar nuestra actividad mental en algo concreto, y no distraernos con otros estímulos. La motivación y el afecto son determinantes en la atención, que es una función en la que intervienen varias áreas y núcleos encefálicos" (2010).

La memoria es un proceso por el cual la información adquirida se convierte en conocimiento que guardamos para utilizarlo posteriormente cuando sea necesario. Función intelectual que tiene relación estructural y funcional con el sistema nervioso central y que se caracteriza por adquisición, almacenamiento y reposición de la información y las experiencias previas aprendidas, ingresadas por alguna vía sensorial. También se define a la memoria como un sistema en el que los procesos encefálicos interrelacionados permiten almacenar y recuperar un tipo específico de información. Las estructuras cerebrales relacionadas con la memoria están en el hipocampo, tálamo, amígdala del lóbulo temporal, cuerpos mamilares y cerebelo entre otras; y se considera a la acetilcolina como el principal neurotransmisor.

Solís divide los tipos de memoria, y la naturaleza de lo que se recuerda en: 1.- a corto plazo (abarca la inmediata, primaria, operacional, activa o de trabajo), 2.-a largo plazo, subdivida a su vez en a) declarativa o explícita (uso diario), formada por la semántica y episódica, b) no declarativa, implícita o de procedimiento, formada por la no asociativa dividida a su vez en: habituación y sensibilización; asociativa dividida a su vez en: condicionamiento clásico o pavloviano y condicionamiento operante.

El aprendizaje y memoria son procesos neurobiológicos íntimamente relacionados, que nos resultan indispensables para tener una vida de relación. La interacción funcional repetitiva de diversas estructuras neuroanatómicas, ensambladas en circuitos neuronales específicos provocan el reforzamiento de las conexiones sinápticas involucradas y, los cambios de plasticidad sináptica que se requieren para establecer los procesos de aprendizaje y memoria. Las alteraciones del hipocampo se manifiestan por trastornos de la memoria reciente o por la incapacidad para adquirir nuevos conocimientos". Potenciación a largo plazo tanto el aprendizaje como la memoria los cuales se codifican mediante cambios dependientes de la actividad entre las conexiones nerviosas. La Memoria a corto plazo es temporal (de segundos a minutos), de capacidad limitada, requiere repetición continua y nos

permite realizar actividades cognitivas básicas e inmediatas. Utiliza un solo sistema de memoria. De trabajo se localiza en varias zonas del cerebro. Capacidad para mantener las cosas en la mente el tiempo suficiente como para llevar a cabo acciones secuenciales. Implica la activación de múltiples sitios encefálicos en los que se almacena temporalmente la información (memoria activa). En este caso no somos conscientes de toda la información que se procesa o utiliza al mismo tiempo. Toda esta información está localizada en diferentes regiones del cerebro y le vamos prestando atención de acuerdo con la necesidad que tengamos en el momento de su aplicación. La información procesada en cualquiera de los sistemas de la memoria de trabajo tiene la posibilidad de acceder a la memoria a largo plazo. Los dos sistemas de repetición están localizados en partes diferentes de las cortezas de asociación posteriores. La visión se relaciona con la corteza estriada y la percepción espacial con la parietal. Se divide en a) administrador central: control de la atención, con capacidad muy limitada. Supervisa y coordina la actividad de dos sistemas subordinados que son articulatorio y fonológico, encargados de manipular la información proveniente del lenguaje. b) agenda visoespacial: maneja las imágenes mentales.

El buen funcionamiento de la memoria de trabajo depende de las áreas sensoriales primarias, del lóbulo prefrontal, núcleo dorso - mediano, tálamo y núcleo neostriado, entre otros. A).- memoria declarativa o explícita (largo plazo): depende de manera importante del hipocampo y estructuras relacionadas. Permite a la persona comunicarse bajo una forma verbal o no verbal y se refiere al acontecimiento. Permite recordar el " que " de las experiencias previas, objetos, rostros, nombres, conceptos, hechos, etc. Es de tipo episódico. El acceso es consciente y el área cerebral relacionada es el lóbulo temporal. Es de uso diario. La información de la corteza visual del lóbulo occipital, auditiva del temporal y somatosensorial del parietal (corteza sensitivas primarias), se procesa en las 3 áreas de asociación multimodal de la corteza: prefrontal, límbica y parieto-occipito-temporal; con lo cual formamos una experiencia completa de nuestro medio. Estas áreas coordinan el lenguaje, la apreciación espacial y la planificación del comportamiento. El hipocampo es solo una estación transitoria en el camino hacia la memoria a largo plazo. Desde las cortezas asociativas multimodales, la información es transportada en serie a las cortezas parahipocámpica y perirrinal, después a la corteza entorrinal, circunvolución dentada, hipocampo, subículo y finalmente de nuevo hacia la corteza entorrinal. Desde aquí la información es devuelta hacia las cortezas del parahipocampo y perirrinal, y por último de nuevo a las

áreas asociativas multimodales de la neocorteza. Por lo tanto, en el procesamiento de la información para el almacenamiento de la memoria explícita, la corteza entorrinal tiene una doble función. Primero, es la principal fuente de aferencias hacia el hipocampo, pues se proyecta a la circunvolución dentada a través de la vía perforante y de esta manera proporciona aferencia vital a través de la cual la información polimodal de las cortezas de asociación alcanzan al hipocampo. Segundo, la corteza entorrinal es también la principal vía de salida del hipocampo, pues la información que ahí llega desde las cortezas de asociación polimodal y la que va desde el hipocampo a las cortezas de asociación converge en la corteza entorrinal. Aunque el hipocampo es importante para el reconocimiento de objetos, otras zonas del lóbulo temporal medial pueden ser incluso más importantes, sobre todo si se considera que el reconocimiento de objetos tiene lugar en 2 etapas relativamente indiferenciadas, que son: 1) mirar el objeto y 2) asociar el conocimiento general del objeto con la percepción. Por otro lado, el hipocampo puede ser relativamente más importante para la representación espacial. La memoria espacial involucra en mayor grado a la actividad del hipocampo en el hemisferio derecho, mientras que la memoria para palabras, objetos o personas implica mayor actividad en el hipocampo del hemisferio izquierdo dominante. El hipocampo derecho se relaciona con la orientación espacial, mientras que el izquierdo con la memoria verbal. El hipocampo es solo una estación transitoria en el camino hacia la memoria a largo plazo. El almacenamiento a largo plazo del conocimiento episódico y semántico, tiene lugar en las zonas de asociación unimodal o multimodal de la corteza cerebral que procesan inicialmente la información sensorial. El sistema hipocámpico es mediador en los pasos iniciales del almacenamiento a largo plazo. De ahí transfiere lentamente la información al sistema de almacenamiento neocortical. La adición relativamente lenta de información a la neocorteza permite que los nuevos datos sean almacenados de tal manera que no distorsionan la información existente. Las áreas de asociación son los últimos depósitos de la memoria explícita. El hemisferio izquierdo tiene un papel crucial en el reconocimiento del significado de los objetos comunes. A1-memoria semántica (declarativa o explícita a largo plazo): aquí los conocimientos guardados no tienen contexto. El conocimiento semántico u objetivo no se almacena en una región única del cerebro. Se forma a través de las asociaciones a lo largo del tiempo. La capacidad de recordar y utilizar el conocimiento - la eficiencia cognitiva - depende de lo bien que estas asociaciones hayan organizado la información que retenemos. Diferentes representaciones de un objeto se almacenan de forma separada. A2- memoria episódica (declarativa o explícita a largo plazo): es de tipo autobiográfica (por

ejemplo: recordar lo que hicimos el domingo pasado). Se codifica y almacena en el hipocampo, circunvolución dentada, amígdala y núcleos talámicos; entre otras. La memoria declarativa o explícita implica el reconocimiento visual de los objetos. No todo el conocimiento visual está representado en el mismo lugar de la corteza occipito-temporal. Las regiones del cerebro activas durante la identificación de objetos dependen en parte de las propiedades intrínsecas de los objetos. Las áreas de la neocorteza que parecen estar especializadas en el almacenamiento a largo plazo del conocimiento episódico son las zonas de asociación de los lóbulos frontales. Estas áreas prefrontales trabajan con otras zonas de la neocorteza para posibilitar el recuerdo del " cuando " y " donde " sucedió un acontecimiento pasado. b) memoria no declarativa, implícita o procedimental (a largo plazo): involucra el núcleo estriado. Basada en la repetición de muchos ensayos. Se expresa a través de conductas repetitivas. Tiene que ver con el " como " de los actos o hábitos que la persona ejecuta, sus habilidades, destrezas y el cómo se hacen las cosas. El acceso es inconsciente. Las áreas relacionadas son el hipocampo, los ganglios basales y el cerebelo; entre otras. El recuerdo: se construye a partir de diferentes fragmentos de información, cada uno de los cuales se deposita en diferentes partes del cerebro. La información se almacena en forma fragmentada. Es inaccesible al recuerdo consciente y se expresa básicamente en la ejecución, no en las palabras. Son los hábitos cognitivos y motores, los que hacemos frecuentemente. Es duradera, derivada del aprendizaje. Su principal lugar de almacenamiento es en las estructuras subcorticales, como en neostriado (caudado y putamen). La amígdala es necesaria para el aprendizaje y expresión del condicionamiento clásico y está implicada en el aprendizaje emocional. La memoria no declarativa o implícita se divide en: b1) no asociativa: habituación y sensibilización, b2) asociativa: condicionamiento clásico (pavloviano) y condicionamiento operante. En la memoria no asociativa: se aprende sobre las propiedades de un único estímulo. Incluye la habituación y la sensibilización.

Habituación es la forma más simple. Se refiere a la disminución de la respuesta a un estímulo benigno cuando este se presenta varias veces. La sensibilización es la facilitación de respuestas reflejas. Es más compleja, pues un estímulo aplicado en una vía produce una variación en la intensidad del reflejo de otra vía.

Tanto la habituación como la sensibilización tienen una forma a corto y a largo plazo. Ambos emplean mecanismos celulares diferentes. Por lo tanto, una sinapsis puede participar en más de un tipo de aprendizaje y almacenar más de un tipo de memoria. B2) memoria asociativa (no declarativa): se divide

en condicionamiento clásico o pavloviano y condicionamiento operante. El condicionamiento clásico o pavloviano implica aprender una relación entre dos estímulos. Es una de las formas más sencillas de aprendizaje asociativo. También se le conoce como reflejo condicionado.

El cerebelo juega un papel importante en la adquisición del aprendizaje motor; participa activamente en la adquisición de nuevos conocimientos, así como en estados emocionales. Está implicado en la memoria implícita. La eficiencia o plasticidad sináptica es un importante mecanismo celular para la formación de la memoria en los circuitos neuronales. Engrama, huella mnésica o geografía de la memoria: representación física o localización cerebral de un recuerdo. Los recuerdos están distribuidos por toda la corteza cerebral.

Ensamble neuronal: grupo de neuronas que son activadas simultáneamente por ese estímulo. Todas están conectadas entre sí formando un sistema general en el que se relaciona la conducta y la organización sináptica a través de redes neuronales dinámicas. La estimulación sostenida del ensamble neuronal conduce a la consolidación.

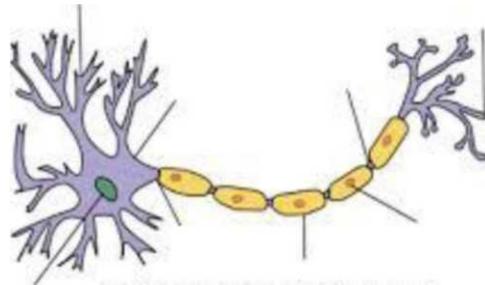
La consolidación son procesos que alteran la información recientemente acumulada - todavía lábil -para hacerla más estable y almacenarla a largo plazo. Intervienen varias áreas cerebrales y el hipocampo desempeña un papel importante. Implica la expresión de genes y la síntesis de nuevas proteínas en el núcleo de la neurona, que provoca cambios estructurales que almacenan la memoria a lo largo del tiempo.

Desde el punto de vista funcional, el aprendizaje y la memoria resultan de la actividad fisiológica repetitiva de millones de neuronas, ensambladas en circuitos neuronales específicos, que lleva al reforzamiento de las conexiones sinápticas involucradas y a cambios de plasticidad sináptica. También, durante el aprendizaje y la memoria se activan segundos mensajeros y se modifican proteínas sinápticas existentes. Algunos de estos cambios temporales se convierten en permanentes (memoria a largo plazo), por alteración en la estructura de la sinapsis.

Cowan describe las diferencias entre memoria a corto plazo, largo plazo y de trabajo; en tanto que Ericson habla únicamente de la memoria de trabajo a largo plazo.

Por su parte, Baqueiro define el aprendizaje como el proceso de adquisición de información y la memoria como la codificación, almacenamiento y recuperación de esa información aprendida. Así también se entiende que el aprendizaje es un cambio relativamente permanente en el sistema nervioso que resulta de la experiencia y que origina a su vez cambios duraderos en la conducta de los organismos; y en contraparte, la memoria es el fenómeno inferido generalmente a partir de esos cambios, que da a nuestras vidas un sentido de continuidad. Para su estudio se divide en a) a corto plazo: almacena una cantidad limitada de información durante un corto periodo de tiempo. Es inmediata, frágil y transitoria, se da para los estímulos recientemente percibidos y resulta bastante vulnerable a cualquier tipo de interferencia. B) a largo plazo: almacena una gran cantidad de información durante un tiempo indefinido. Es estable, duradera y muy poco vulnerable a las interferencias. En sus conclusiones, explica: "la memoria es un fenómeno íntimamente relacionado con el aprendizaje, que supone un cambio a nivel comportamental, cognitivo y neuronal. Su proceso de formación incluye al menos dos estadios o etapas subsecuentes: la memoria a corto plazo y a largo plazo. La diferencia clave entre estos 2 estadios yace en la persistencia del cambio que producen sobre las conexiones sinápticas. Los conceptos de plasticidad sináptica y potenciación a largo plazo, explican el soporte neuroquímico de la memoria. Sobre ellos se infiere que el cerebro y sus conexiones cambian anatómicamente y funcionalmente como producto de la experiencia. Desde la neurobiología se sabe que en el cerebro la memoria no está totalmente localizada ni deslocalizada, sino que se constituye en varios conglomerados de circuitos especializados en diversas áreas correspondientes a las distintas funciones cerebrales y los tipos o sistemas de memoria". Eschrich en el 2008, habla de la memoria musical y su relación con las emociones y el sistema límbico.

Cambios estructurales en la sustancia gris durante el aprendizaje, la parte posterior del hipocampo aumenta en personas con habilidades específicas altamente desarrolladas. Cambios en la sustancia blanca: el cuerpo calloso (trayecto largo que conecta el hemisferio derecho con el izquierdo) es significativamente más largo en los músicos. Aumento en la mielinización o aumento en el número de fibras axonales en los trayectos de sustancia blanca, o aumento en el calibre de los axones, o alteraciones en el arreglo anatómico de fibras en los trayectos de sustancia blanca. Se han encontrado diferencias en la estructura de la sustancia blanca entre músicos profesionales y no músicos, correlacionadas con las horas de práctica.



ESTRUCTURA DE UNA NEURONA CLASICA

Dendrita - Soma - Axón - Núcleo - Mielina -
Hjmf - AHOA [píntnl] -

Figura 1. Muestra la imagen de una neurona clásica.

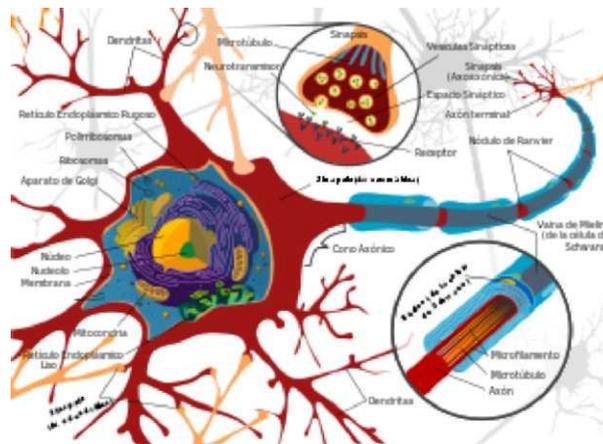


Figura 2. Muestra la imagen de una neurona de un músico profesional.

Neuroquímica de la transmisión sináptica Dunn en 1978 y Sabater en 1983, revisan los experimentos realizados hasta esas fechas sobre la neuroquímica del aprendizaje y la memoria. Fields en 2011, describe el substrato celular necesario para los cambios estructurales en la materia o sustancia gris y en la blanca del cerebro humano durante el aprendizaje.

Chanda en 2013 describe las metodologías modernas para el estudio de los efectos fisiológicos de la música. Menciona que la beta - endorfina y el cortisol disminuyen al escuchar música; por otro lado, la música estimulante aumenta el cortisol plasmático, ACTH, prolactina, hormona del crecimiento y la norepinefrina. ¿Cuáles son los mecanismos celulares que intervienen? Baqueiro menciona la reducción del umbral en la neurona como lo que provoca la llegada al núcleo de una cascada de señales que producen moléculas encargadas de mediar el cambio en la eficacia de las conexiones sinápticas, el reforzamiento de las ya existentes, o el crecimiento de nuevas sinapsis. Cambios eléctricos o moleculares en las redes neuronales implicadas, síntesis de nuevas proteínas y cambios estructurales permanentes que producen el proceso de consolidación de la memoria, por formación de nuevas espinas dendríticas, también conocido como plasticidad sináptica.



Figura 3. Muestra la imagen de la plasticidad sináptica.

En milisegundos, en una sinapsis, la activación produce liberación del glutamato (que es un aminoácido principal neurotransmisor excitador) desde la neurona presináptica que activa los receptores AMPA (ácido alfa - amino - 3 - hidroxy - 5 - metil - 4 - isoxazol propiónico) y, en unos segundos más, la despolarización postsináptica lograda en el área, libera a los canales de los receptores asociativos nmda (n - metil - d - aspartato) de los iones Mg^{2+} que los bloquean, lo cual permite un gran influjo postsináptico de Ca^{2+} a través de los canales de esos receptores y de otros ligados a receptores de glutamato dependientes de voltaje. El ampa es el principal receptor ionotrópico del glutamato y el nmda su principal receptor metabotrópico. Todo ello, a su vez, origina la activación de cinasas (enzimas) que,

modulando determinados sustratos, por un lado, inducen cambios en el citoesqueleto de la neurona en el plazo de minutos y, por otro, activan factores de transcripción de ARNm y síntesis de proteínas receptoras AMPA, las cuales migran hacia los lugares modificados y, en el lapso de horas, se insertan en la membrana y contribuyen a la estabilización de los cambios sucedidos en el citoesqueleto de la neurona postsináptica.

Gracias a todo este proceso, el aprendizaje es capaz de producir cambios morfológicos en el sistema nervioso.

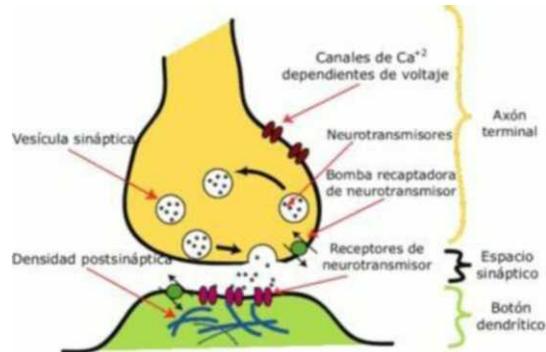


Figura 4. Muestra la imagen del proceso de sinapsis.

¿Dónde y cómo se realiza el aprendizaje y memoria musical?

De acuerdo con Cuartero, el piano es el instrumento que mayor memorización exige. ¿Cuál es la importancia de la carga afectiva, y de la repetición del estímulo? Williamom menciona la "teoría de memoria por habilidades" (skilled memory theory) como la que explica las notables habilidades de memoria en expertos de varios dominios, posteriormente extendida por Ericsson a "memoria de trabajo a largo plazo" (long term working memory). ¿De qué están hechos los recuerdos? Ramón y Cajal "el ejercicio mental facilita un mayor desarrollo de las estructuras nerviosas en las partes del cerebro en uso. Así, las conexiones preexistentes entre grupos de células podrían ser reforzadas por la multiplicación de terminales nerviosas" (1849); Hebb nos habla de la capacidad para modular o cambiar la fuerza de las conexiones entre neuronas, las propiedades y funciones de circuitos neuronales en respuesta a estímulos externos y a la experiencia previa "cuando el axón de la neurona A excita la neurona B, y repetida o persistentemente interviene en su activación, algún tipo de crecimiento o cambio

metabólico tiene lugar en una o en ambas, de suerte que la eficacia de a como una de las estimuladores de b, aumenta"(1949). Lomo (1966) observó que breves trenes de estímulos incrementan la eficacia de la transmisión en las sinapsis entre la vía perforante y las células granulares de la circunvolución dentada del hipocampo. Lomo y Bliss (1973) describieron la - potenciación a largo plazo - en la cual una estimulación de frecuencia moderadamente alta en la misma vía produce incrementos estables y duraderos de la respuesta postsináptica. Es el fenómeno resultante de las alteraciones bioquímicas que causan modificaciones plásticas duraderas, se puede observar en diversas sinapsis por todo el sistema nervioso central, y su acción puede prolongarse durante horas, días o semanas.

La plasticidad sináptica (fundamentalmente en el hipocampo) produce cambios morfológicos en las espinas dendríticas que podrían constituir la base estructural de la memoria. Kandel (2001), llama facilitación a largo plazo - a la estimulación eléctrica a alta frecuencia de un axón y la siguiente cascada de señalización intracelular hacia el núcleo que tras olas de expresión genética genera cambios a nivel funcional y estructural de la neurona postsináptica. La importancia del hipocampo, aunque se sabe que los diversos sistemas de memoria (implícita, explícita y de trabajo) requieren la participación de diferentes circuitos neuronales y se localizan en distintas regiones del cerebro, el hipocampo en particular y el lóbulo temporal en general, son componentes imprescindibles para la adquisición de nuevos recuerdos de tipo explícitos o declarativos.

Figura 1. Modelo hipotético de los procesos metabólicos de una neurona durante el almacenamiento de memoria (modificado de Matthies, 1979,213).

1. Aflujo de una excitación específica (información) procedente de la vía sensitiva hacia una sinapsis inactiva: liberación de un transmisor. 2. Provocación de un potencial de acción con activación del receptor postsináptico. En paralelo a este proceso: alteraciones formales locales de la membrana postsináptica como primera condición para la entrada de información. Modificación de la síntesis de proteínas mediante activación de enzimas metabólicas. 3. Los influjos de excitación, motivadores (M), actúan a través de transmisores específicos, favoreciendo el proceso de síntesis de proteínas. 4. Paso de las proteínas al núcleo. 5. Modificación cuantitativa y cualitativa de la formación de cadenas de polipéptidos. 7. Formación de glucoproteínas específicas. 8. Los aflujos de excitación emocionales (E) actúan sobre los transmisores específicos favoreciendo el proceso de síntesis de proteínas. 9. Transporte de las glucoproteínas hacia la membrana postsináptica inactiva (aún no modificada en su forma) de la sinapsis condicionada. 10. Incorporación de la glucoproteína a la membrana postsináptica modificada. 11. Transformación de la sinapsis inactiva en activa: la sinapsis "ha aprendido", esto es, a través de los cambios estructurales de la membrana ha almacenado los aflujos de información "en la memoria".

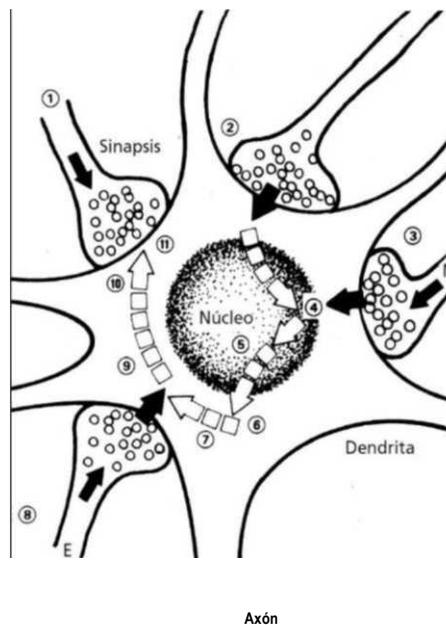


Figura 5. Muestra el modelo hipotético de los procesos metabólicos de una neurona durante el almacenamiento de memoria

Para nosotros, exigen 3 tipos de aprendizaje y memoria musical la motriz, auditiva y visual finalmente, Fields explica que el aprendizaje va asociado a cambios estructurales, tanto en la materia o sustancia gris, como en la blanca; ya sea en regiones corticales o en trayectos de fibras, producidos por cambios en la morfología neuronal y glial, así como por cambios vasculares; aumento en el volumen del cuerpo neuronal, aumento de los procesos neuronales, aumento en las células de la glia, aumento en la mielina, aumento en la vascularización del tejido.

Tanto las alteraciones en la morfología de los axones, así como la mielinización contribuyen a la plasticidad de la materia o sustancia blanca durante el aprendizaje, pero en diferentes grados dependiendo de la edad. Aumenta la velocidad o sincronización de transmisión del impulso entre las regiones corticales que intervienen. Los potenciales de acción pueden estimular el crecimiento de los oligodendrocitos y la mielinización, mediante por lo menos 3 mecanismos conocidos que involucran moléculas señaladoras (signaling molecules) entre los axones y los oligodendrocitos, y que no requieren la liberación de neurotransmisor en las sinapsis.

Engrama (engram): respuestas anatómicas y cambios tisulares - electrofisiológicos y bioquímicos en la neurona- durante el aprendizaje. Cambios biofísicos o bioquímicos en el cerebro y otros tejidos neurales, mediante los cuales se almacena la memoria en respuesta a estímulos externos. Las sinapsis son estructuralmente dinámicas en asociación con los cambios funcionales. Se producen cambios en la dinámica estructural en las espinas dendríticas, en la glia y en las sinapsis.

La ejecución musical implica un aumento en la sustancia gris en la corteza motora y auditiva, corteza sensorimotora izquierda y cerebelo derecho; y un aumento en la sustancia blanca del cuerpo caloso, tracto corticoespinal, tractos de asociación frontoparietal y porción posterior de la cápsula interna.

Gaser (2003), describió el aumento de la sustancia o materia gris en pianistas profesionales en las regiones motora, auditiva y visual-espacial. La anisotropía de difusión de agua en el tejido de la sustancia blanca o anisotropía fraccional (af o fa) su aumento se correlaciona directamente con el número de horas de práctica musical. Al igual que los cambios estructurales en la sustancia gris durante el aprendizaje; el aumento de la "af" en la sustancia blanca se asocia con un mayor coeficiente intelectual. Aprender a leer aumenta el volumen de la sustancia blanca en el splenium del cuerpo caloso, al igual que un aumento en la "af" en trayectos de sustancia blanca que conectan las circunvoluciones angulares izquierda y derecha. La cisura intraparietal posterior derecha se asocia con la función visomotora. El crecimiento por los cambios estructurales o por la plasticidad en la sustancia gris o en la blanca es regulado por mecanismos diferentes. Los cambios estructurales en la plasticidad cerebral durante el aprendizaje; la mielinización continua hasta la adolescencia y adulto temprano en algunas regiones cerebrales, incluyendo trayectos de fibras que

interconectan regiones corticales. Grandes cambios estructurales suceden durante el aprendizaje en la infancia y adolescencia y los cambios en la sustancia blanca son más evidentes en fibras que están todavía presentando mielinización. De acuerdo con Bengtsson (2005), los pianistas que aprendieron a tocar a edad temprana presentan un aumento más extenso en la sustancia blanca (incluyendo el istmo y el esplenio del cuerpo calloso); en cambio aquellos que empezaron el estudio a partir de los 17 años de edad solo presentaron cambios en aquellas áreas de sustancia blanca que no habían completado su mielinización (regiones del lóbulo frontal). Los pianistas profesionales presentan un aumento en la estructura de la sustancia blanca en ciertos trayectos y dicho aumento se correlaciona con las horas de práctica. Los cambios estructurales en el cerebro durante el aprendizaje persisten en el adulto, aunque en localizaciones más restringidas y en menor grado. Los mayores efectos del aprendizaje sobre la estructura de la sustancia blanca se presentan en trayectos que todavía están desarrollando la mielinización, pero los cambios que dependen del aprendizaje en la sustancia blanca persisten en el cerebro del adulto, aunque en menor grado.

En pianistas concertistas aumenta el tamaño de la cápsula interna proporcionalmente al número de horas de práctica. Debido a que deben de ejecutar un gran número de movimientos rápidos, complejos y precisos con los dedos de ambas manos, con lo cual aumenta la "af" en el tracto piramidal (Ullen, 2009). El aprendizaje cambia las estrategias cognitivas del individuo conforme la tarea se perfecciona y la dificultad relativa de la tarea disminuye. El aumento en la plasticidad de la sustancia blanca aumenta al inicio del aprendizaje, pero disminuye conforme se avanza en la adquisición del aprendizaje. Los cambios estructurales y funcionales en el cerebro después del aprendizaje no necesariamente suceden en las mismas regiones corticales o se desarrollan durante el mismo tiempo. La plasticidad de mielinización indirecta; las vainas de mielina crecen en paralelo con el axón. La plasticidad de mielinización directa; grosor de la vaina de mielina es modulado independientemente del diámetro del axón. Substratos celulares para los cambios estructurales en el cerebro durante el aprendizaje; los potenciales de acción en los axones generados por la estimulación eléctrica de los mismos, inhiben o estimulan la actividad de los canales de sodio; Interviene la glia mielinizante, y varios neurotransmisores, entre ellos el ATP, los mecanismos estructurales, eléctricos y bioquímicos son todos necesarios para los mecanismos celulares del aprendizaje. La mielina y el diámetro del axón afectan la velocidad de propagación del impulso. Los cambios en la sustancia blanca, incluyendo el número de axones, su diámetro, el número de axones mielinizados en un trayecto, el grosor de la mielina, u otros aspectos morfológicos tales como la distancia internodal, pudieran afectar la velocidad de propagación del impulso y así contribuir al mejor desempeño funcional en el aprendizaje.

Envejecimiento normal; se asocia con atrofia gradual del cerebro. Las reducciones extensas en el volumen de la sustancia gris se observan a partir de la edad media, pero reducciones tempranas en

la sustancia gris se presentan en la corteza frontal. Por el contrario, la sustancia blanca continúa su crecimiento hasta la edad media y posteriormente disminuye. El deterioro por la edad en la microestructura de la sustancia blanca se correlaciona con la disminución en la "af".

BIBLIOGRAFIA

- Baqueiro, M (2012) : Neurobiología de la memoria y procesos neuroquímicos implicados. Apunt. Cienc. Soc., 02 (02) : 160 - 164.
- Chanda, M (2013) : The neurochemistry of music trends in cognitive sciences. April, 17, 4 : 179 - 193.
- Cowan, N (2008) : What are the differences between long term - short term and working memory ?. Prog Brain Res. 169 : 323 - 338.
- Cuartero, M (2010) : Tipos de memoria, aptitudes y estrategias en el proceso de memorización de estudiantes de piano. Revista electrónica de LEEME. 26, December : 1 - 54.
- Dunn, A (1978) : The neurochemistry of learning and memory. Environmental health perspectives. 26 : 143 - 147.
- Ericson, K (1995) : Long term working memory. Psychol Rev : 211 - 245.
- Eschrich, S (2008) : Musical memory and its relation to emotions and the limbic system. Thesis. Univ of music and drama. Hannover.
- Fields, R (2011) : Imaging learning; the search for a memory trace. Neuroscientists. Apr, 17 (2) : 185 - 196.
- Ibarra, R (2009) : Neuroanatomía y neurofisiología del aprendizaje y memoria musical. Conductitlan. 5,1 : 39 - 51.
- Ibarra, R (2011) : ¿ Tienen los músicos cerebros diferentes ?. Traducción de : Do musicians have different brains ? - Dra. Laurent Stewart, Directora de la maestría en música. University of London. Hekademus, 04, 12, Abril : 34 - 39.
- Sabater, J (1983) : Bases neuroquímicas del aprendizaje y de la memoria. Real academia de medicina de Barcelona. Discurso, 15 Mayo : 1 - 72.
- Solis, H (2009) : Neuroanatomía funcional de la memoria. Arch neurocienc (mex). 14, 3 : 176 - 187.
- Williamson, A (2004) : Memory structures for encoding and retrieving a piece of music, an ERP investigation. Cog Brain Res, 22 : 36 - 44.