

Neurofisiología – cátedra 1

Prof. Reg. Adj. a cargo: Nancy China

Condicionamiento del miedo

2025

Índice

Preguntas para guiar la lectura.....	página 3
Estudios recientes sobre la amígdala.....	página 4
Las vías del condicionamiento del miedo.....	página 7
La amígdala, núcleos y conexiones.....	página 10
Inserciones.....	página 13
Bibliografía.....	página 14

Preguntas para guiar la lectura

A continuación, se plantea una serie de preguntas para dirigir la lectura del presente material; léelas atentamente. Es posible que no tengas los conocimientos suficientes para responder algunas (o muchas de ellas). Sin embargo, podés reflexionar sobre qué se está preguntando y anotar las ideas que te surgen, aunque no constituyan una respuesta formal.

Activar los conocimientos previos, aunque sean insuficientes, es una parte muy importante para aprender nuevos conceptos. ¿Por qué? Porque aprender conceptos implica asociar nuevas ideas a las ideas preexistentes, estructurarlas y darles una nueva organización.

1. ¿Qué son las emociones?
2. ¿Cuál es su papel en la supervivencia del organismo?
3. ¿Cómo influyen en la conducta humana?
4. ¿Cómo se relacionan con otros aspectos de la actividad mental, con el razonamiento y la conciencia, por ejemplo?
5. ¿Podemos controlar nuestras emociones?
6. ¿Qué aportan las neurociencias a la comprensión de las emociones y sentimientos?

Condicionamiento del miedo

Estudios recientes sobre la amígdala

Joseph LeDoux (1996) dedicó muchos años a la investigación experimental del miedo en animales y de su modificación por aprendizaje. Sus trabajos son importantes para comprender las estructuras neurales subyacentes y para el estudio de otras emociones en animales. También son importantes para comprender muchos aspectos de la psicopatología de las emociones en los humanos. Cuatro razones llevaron a LeDoux a elegir la *conducta emocional* del miedo como el primer y principal foco de su estudio dejando en un segundo plano el *sentimiento* del miedo y otras emociones: a) la respuesta de miedo se expresa de manera muy similar tanto en el hombre como en otros animales, es una conducta de defensa que tiene un pasado evolutivo (inserción 1), en cambio la culpa y la vergüenza, como sentimientos, puede que sean sólo humanos; b) es una respuesta que se puede medir y utilizar más fácilmente en los experimentos (a diferencia del amor o la esperanza que son difíciles de identificar y de medir); c) el miedo es omnipresente y se mantiene a través de la evolución no sólo filogenética, sino también de nuestra propia evolución cultural (en el pasado, el mundo salvaje podía constituir un peligro para los humanos, hoy el peligro puede estar constituido por una central nuclear, un descalabro financiero, o la pérdida del trabajo, pero subsiste); d) el miedo es importante en la psicopatología (inserción 2).

Para sus investigaciones, LeDoux utilizó el paradigma conductual llamado “*condicionamiento del miedo*”. En el condicionamiento del miedo, los animales aprenden a temer a un estímulo que antes del aprendizaje era neutral, es decir que no producía respuestas de miedo. Para ello, hay que asociar un estímulo incondicionado (que despierta la respuesta de miedo de manera innata) con un estímulo neutro cualquiera (sonido, luz, etc.) que no despierta naturalmente la respuesta de miedo.

Las ratas responden de una manera automática y bastante constante a un estímulo desencadenante peligroso, por ejemplo, la presencia de un gato (su predador natural). El animal se detiene en seco, permanece inmóvil acurrucado, sólo realiza los movimientos rítmicos del pecho necesarios para respirar, se le eriza el pelo, aumenta el ritmo cardíaco y la presión arterial, y se segregan algunas hormonas del estrés en el flujo sanguíneo. La presencia del gato actúa como estímulo incondicionado (EI) y el conjunto de cambios corporales son la respuesta emocional. Esta es una respuesta innata. Las ratas criadas en laboratorio, que jamás han visto un gato, también muestran esta respuesta cuando lo ven por primera vez. Las ratas tienen la misma respuesta ante otros estímulos, como por ejemplo un shock eléctrico en la patas del animal. Por razones de manipulación experimental, se utiliza el shock eléctrico como estímulo desencadenante natural de la respuesta de miedo.

Para el condicionamiento, se procede de la siguiente manera: se coloca a una rata en una jaula pequeña y se emite un sonido seguido por una ligera descarga eléctrica aplicada a las patas. Tras varias repeticiones de esta secuencia de estímulos, la rata presenta la respuesta de miedo cuando oye el sonido (figuras 7 y 8). El estímulo neutro (sonido) pasa a ser ahora un estímulo condicionado.

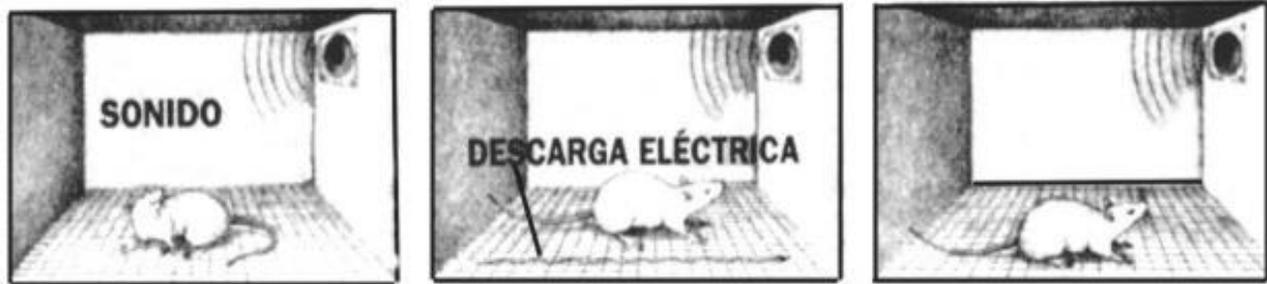


Figura 7

Condicionamiento del miedo en una rata. Primero, se emite sólo el sonido, la rata se orienta hacia el mismo, pero tras varias repeticiones, no hace caso del sonido. A continuación, se emiten varias veces el sonido seguido de la breve descarga eléctrica. Por último, cuando el sonido se vuelva a emitir solo, provocará respuestas condicionadas del miedo.

Esto sugiere que, como consecuencia del condicionamiento, el sonido activa el mecanismo neuronal que controla las respuestas que se relacionan con la presencia de un predador u otros peligros naturales. El sonido provoca esas respuestas sólo tras el condicionamiento del miedo, de modo que es un estímulo condicionado (EC) adquirido. El condicionamiento no produce el aprendizaje de la respuesta, aunque las ratas se queden inmóviles luego de la exposición a un sonido después del condicionamiento y nunca antes de éste. El condicionamiento no enseña a las ratas a permanecer inmóviles, ésta respuesta es algo que las ratas hacen de forma natural cuando se exponen a una situación peligrosa. Lo que aprende el animal es a responder al estímulo condicionado. Éste comienza a actuar como señal de que es probable que aparezca el estímulo incondicionado (el shock eléctrico).

Obviamente, este aprendizaje representa una ventaja adaptativa. Representa un recurso de la evolución para afrontar los nuevos sucesos que ocurren en el ambiente, permite adquirir y almacenar los estímulos novedosos que alertan sobre situaciones peligrosas (como las huellas de un predador cercano o el lugar en que éste ha sido visto).

El condicionamiento del miedo se produce rápidamente, basta presentar simultáneamente unas pocas veces (incluso sólo una vez) el estímulo condicionado (EC) y el estímulo incondicionado (EI). Este tipo de aprendizaje también es ventajoso ya que un animal salvaje no tiene muchas oportunidades de aprender “por tanteo”; si sobrevive al encuentro con un predador, el inmediato almacenamiento de esa experiencia puede ayudarlo en situaciones futuras.

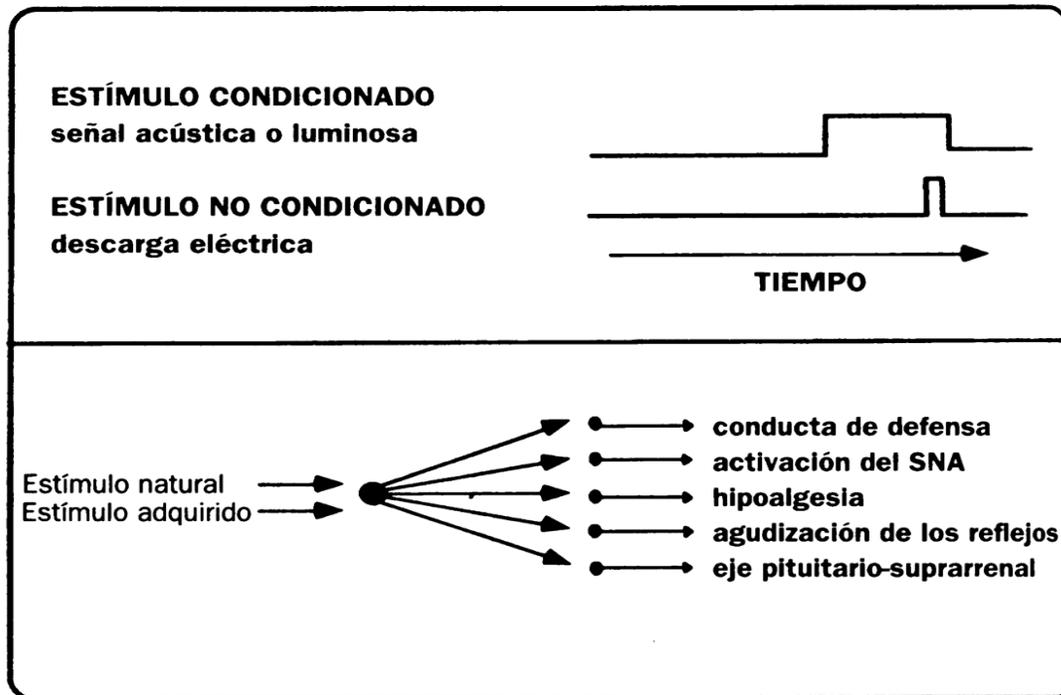


Figura 8

Condicionamiento del miedo. Se introduce un estímulo incondicionado, que suele ser una breve descarga eléctrica, al finalizar la emisión de un estímulo condicionado, por lo general un sonido o una señal luminosa (arriba). Luego del condicionamiento, el estímulo condicionado adquiere la capacidad para provocar un amplio abanico de respuestas fisiológicas y conductuales que se producen cuando el animal se enfrenta a estímulos amenazadores o que despiertan miedo (abajo). De esa manera, una rata que ha sido condicionada expresará las mismas respuestas tanto hacia un estímulo condicionado como hacia una amenaza natural (por ej.: un gato).

El condicionamiento del miedo es muy duradero, una vez establecido no se olvida, aunque sí puede “extinguirse”, también por aprendizaje. Cuando la exposición repetida al EC (sonido) se produce en ausencia del EI (shock eléctrico), puede provocarse la extinción del reflejo, es decir, la atenuación de la capacidad del EC para provocar la reacción del miedo. Esto también representa una ventaja adaptativa; por ejemplo, un animal que tuvo un encuentro con un predador en el único lugar de su hábitat en donde obtiene agua, evitará el lugar porque le producirá temor. Sin embargo, la sed lo hará volver al lugar, sediento y atemorizado. Si vuelve día tras día sin encontrarse con el predador, terminará actuando como si nunca lo hubiera visto. Es necesario aclarar, que la extinción no conlleva la supresión del condicionamiento ya que el EC puede volver a mostrar su efecto luego de un tiempo. Pavlov llamó a este fenómeno “recuperación espontánea” del condicionamiento.

El condicionamiento del miedo se ha observado en numerosas especies animales de todos los órdenes: moscas de la fruta, gusanos, caracoles de mar, peces, lagartijas, palomas, ratas, conejos, gatos, perros, macacos, mandriles y humanos.

Las vías del condicionamiento del miedo

El método adoptado para delinear la neuroanatomía del condicionamiento del miedo fue seguir el flujo de la información cerebral, comenzando en el punto en que el estímulo condicionado entra en el cerebro, y tratando de establecer las vías y las estructuras mediante las cuales se producían las respuestas de miedo.

Dado que el EC era sonoro, se trabajó con el sistema auditivo. El sistema auditivo (figura 9), como el resto de los sistemas sensoriales, está organizado de forma que la corteza es el último elemento en la cadena de procesamiento de la información que empieza en los receptores sensoriales periféricos, en este caso, el oído. Para averiguar cuál era el eslabón final al que el estímulo tenía que llegar para que el condicionamiento del miedo ocurriese, se practicaron lesiones en distintos eslabones de la vía auditiva de las ratas. Lesionar el oído no era útil, pues el animal sordo no podría percibir ningún sonido. En cambio, se empezó lesionando la última zona de la vía auditiva (la corteza auditiva). Se observó que las lesiones en la corteza auditiva, no tenían ningún efecto en el condicionamiento de la respuesta de inmovilidad, ni de la presión sanguínea. Pese a tener destruida la corteza auditiva, las ratas seguían respondiendo al EC (sonido) con una reacción de miedo. Luego, se practicó una lesión en el eslabón anterior, los núcleos auditivos del tálamo. Estas lesiones *impidieron totalmente* el condicionamiento del miedo. También ocurrió lo mismo con lesiones en el eslabón anterior a éste, los núcleos auditivos del mesencéfalo.

Estos experimentos suponían la siguiente paradoja: la corteza auditiva *no era la encargada* de efectuar el procesamiento del estímulo desencadenante y las estructuras subcorticales del procesamiento sensorial no parecían subordinadas a ella. Si la corteza auditiva no era el destino, ¿adónde podía ir el estímulo después de dejar el tálamo en su recorrido hacia la reacción emocional?

Para localizar la vía desconocida, se inyectó en los núcleos auditivos del tálamo una sustancia de rastreo llamada “peroxidasa de rábano” (sustancia que se difunde a través de las conexiones marcando el recorrido de la vía por la que viaja la información). Se detectaron cuatro regiones subcorticales que recibían proyecciones procedentes del tálamo auditivo, una de ellas el núcleo amigdalino. Luego, se realizaron experimentos de lesión con el fin de interrumpir el flujo de información desde el tálamo hacia cada una de estas zonas. Los resultados fueron que la destrucción de tres de las cuatro regiones con las que se conectaba el tálamo no tuvo ningún efecto sobre el condicionamiento del miedo. En cambio, la destrucción de la cuarta zona, el *núcleo amigdalino*, hacía desaparecer la respuesta condicionada de miedo.

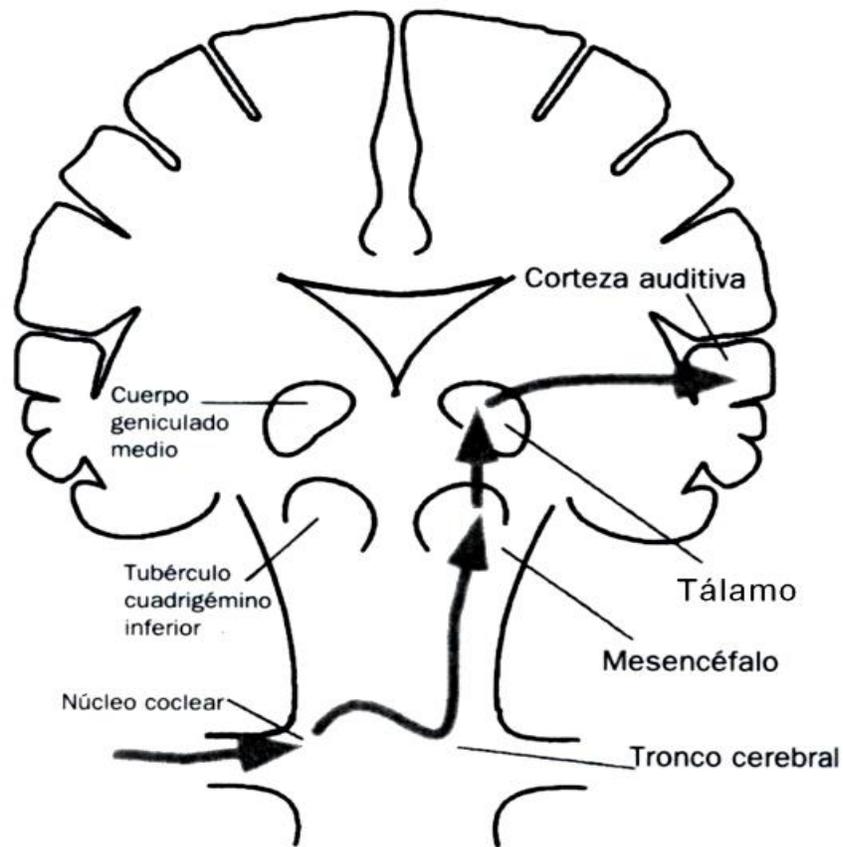


Figura 9

Vías del procesamiento auditivo. Se muestra un esquema simplificado de las vías auditivas del cerebro humano, esta disposición es similar también para el resto de las especies vertebradas. Las señales acústicas del ambiente son recogidas por unos receptores especiales del oído (no indicados en la ilustración) y son transmitidas hacia el cerebro por el nervio auditivo (flecha inferior izquierda), que termina en los núcleos cocleares del tronco cerebral. Los axones de estas zonas atraviesan casi totalmente el cerebro hasta el otro extremo y ascienden al tubérculo cuadrigémino inferior del mesencéfalo. Después, los axones del tubérculo cuadrigémino inferior viajan hasta el núcleo auditivo del tálamo (el cuerpo geniculado medio) que proporciona los datos principales a la corteza auditiva.

En síntesis, la respuesta condicionada del miedo no se afectaba por una lesión de la corteza y sí se suprimía si se lesionaba el núcleo amigdalino. El hecho de que el aprendizaje emocional dependa de vías que no entran a la neocorteza, sugiere fuertemente que las respuestas emocionales pueden producirse sin la participación de los mecanismos cerebrales superiores de procesamiento, el razonamiento y la consciencia.

LeDoux postuló que la información de los estímulos externos llega al núcleo amigdalino por vía directa desde el tálamo (el camino secundario), así como por vías que van desde el tálamo a la corteza y de ésta, al núcleo amigdalino (el camino principal) (figura 10).

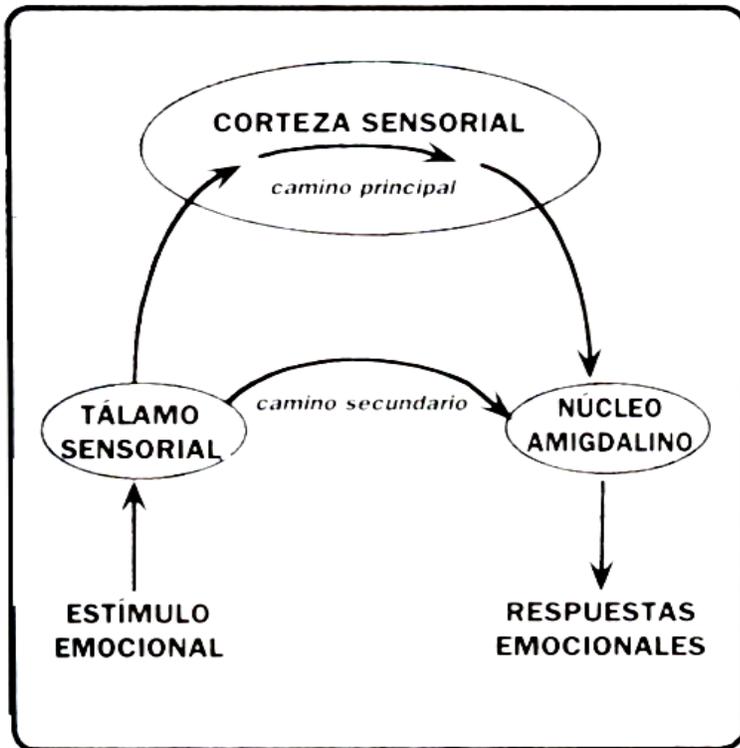


Figura 10
Caminos principal y secundario al núcleo amigdalino.

La **vía directa (camino secundario)** es una ruta de transmisión corta (tarda 12 milisegundos), filogenéticamente más primitiva, que permite que parte de la información referida al estímulo alcance la amígdala de manera directa y rápida. Consta de una sola conexión, proporciona una imagen burda del mundo exterior y su acción consiste en predisponer al núcleo amigdalino para producir una respuesta. Parece una vía útil para desencadenar una respuesta inmediata en los casos en los que está comprometida la supervivencia.

La **vía cortical (camino principal)** tarda el doble de tiempo en recorrer el camino hacia el núcleo amigdalino, tiene varias conexiones intermedias, proporciona representaciones más detalladas y exactas y su tarea consiste en evitar la respuesta inadecuada, más que en producir la apropiada.

La interacción entre estas dos vías podría ejemplificarse de la siguiente manera: un excursionista camina por el bosque y encuentra en medio del camino una serpiente enroscada detrás de un tronco (figura 11).

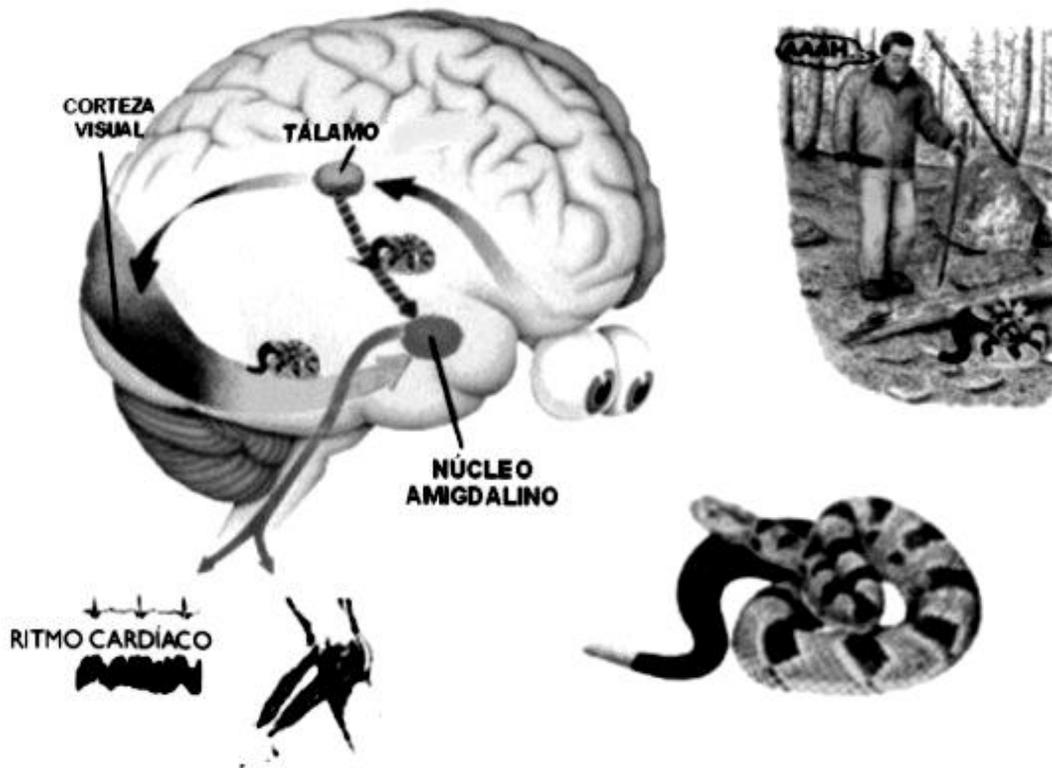


Figura 11

Ejemplo del excursionista que se encuentra con una serpiente enroscada detrás de un tronco (recuadro superior derecho) y la representación sobre la interacción de las dos vías que procesan ese estímulo visual.

El estímulo visual se procesa en el cerebro a través del tálamo, una parte de éste transmite la información (tosca), hasta el núcleo amigdalino. Este último empieza a responder ante el peligro potencial que supone un objeto curvo y delgado, que podría ser una serpiente, una rama o cualquier otro objeto inofensivo. Mientras tanto, el tálamo también envía la información hacia la corteza visual. La corteza visual es la encargada de crear una representación exacta y precisa del estímulo y le envía al núcleo amigdalino la información resultante del procesamiento cortical. Esta información mucho más exacta sobre el estímulo, llega más tarde que aquella que había llegado por la vía directa desde el tálamo. En situaciones de peligro, es importante reaccionar rápidamente, ya que el tiempo que ganó el núcleo amigdalino para actuar con la información talámica, en lugar de esperar la llegada de los datos corticales, puede ser la diferencia entre la vida y la muerte. Reaccionar ante una rama como si fuera una serpiente es mejor que no haber reaccionado ante una posible serpiente.

La amígdala, núcleos y conexiones

La amígdala es una formación relativamente pequeña (se denomina de este modo por su parecido con la forma de una almendra, del latín “amígdala”: almendra), pero compleja. Está constituida por un conjunto de núcleos. Está ubicada en la profundidad del lóbulo temporal, cerca de su polo anterior, por delante de la formación hipocámpica (figura 12).

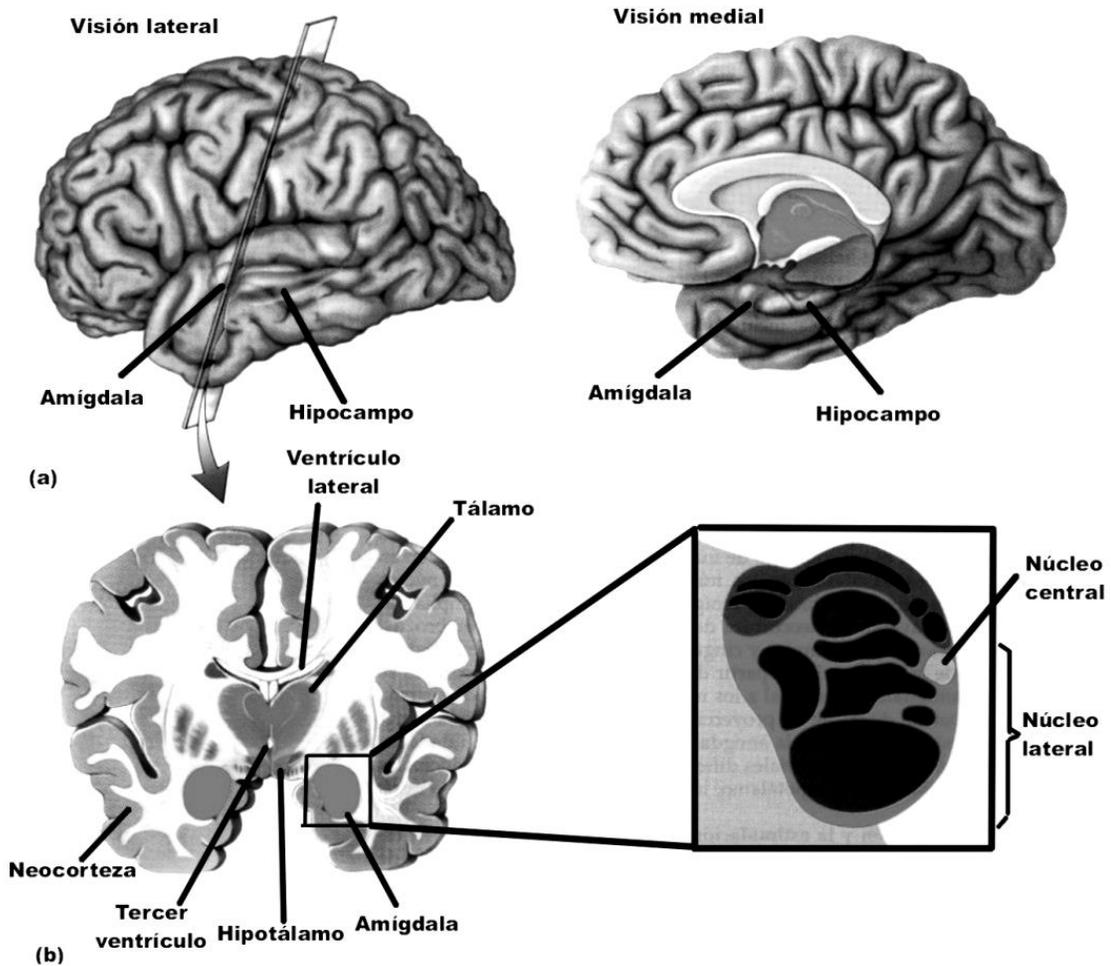


Figura 12

Corte transversal de la amígdala. (a) Visiones lateral y medial del lóbulo temporal que muestran la localización de la amígdala en relación al hipocampo. (b) Corte coronal del cerebro donde se observa la amígdala.

La amígdala se desarrolla tempranamente en la gestación (entre los 30 y 50 días del embrión), pero sus distintos núcleos no se diferencian hasta la vida postnatal, lo que indica plasticidad para completar su maduración luego del nacimiento. La antigua visión de la amígdala era que estaba interconectada sólo con el hipocampo, pero evidencia reciente reveló que se interconecta con muchas regiones cerebrales.

Con el modelo experimental del condicionamiento del miedo, se pudo trazar de manera bastante precisa la función de los distintos núcleos (figura 13).

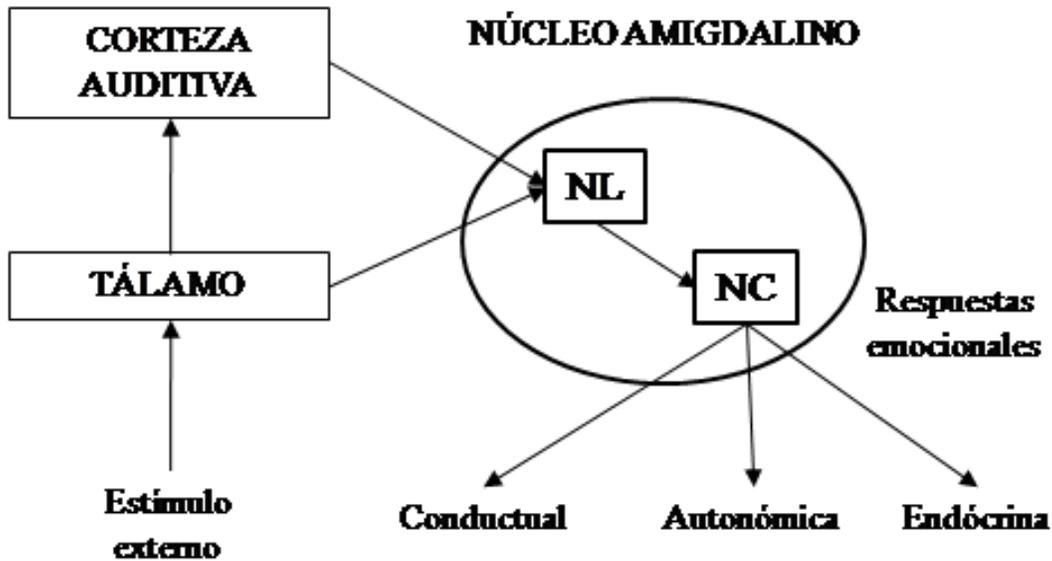


Figura 13

Las vías neurales que participan en el condicionamiento del miedo. Los estímulos externos auditivos son transmitidos hacia el núcleo lateral (NL), provenientes del área de procesamiento auditivo del tálamo y desde la corteza auditiva. El NL, a su vez, procesa y distribuye los resultados hacia el núcleo central (NC), éste último controla las respuestas emocionales del sistema endócrino (SE), del sistema nervioso autónomo (SNA), y de la conducta.

El estímulo condicionado acústico (EC) alcanza la amígdala por vía, tanto del tálamo auditivo como de la corteza. Esas dos vías convergen en las células del núcleo lateral de la amígdala (NL), que es la puerta de entrada principal del núcleo amigdalino. Una vez que la información alcanza al NL, se distribuye por las conexiones hasta el núcleo central (NC), éste último provoca el complejo repertorio de respuestas de defensa. El NC es la puerta de salida, el punto de conexión con las zonas que controlan las respuestas emocionales, las que abarcan:

- Las respuestas motoras, que son los movimientos de huida o de defensa. Incluyen expresiones emocionales como los gestos, el temblor y la producción de sonidos que comunican a los otros el estado emocional.
- Las respuestas del sistema nervioso autónomo (SNA), que producen cambios en el funcionamiento visceral como el aumento de la presión sanguínea y de la frecuencia respiratoria y cardíaca.
- Las respuestas del sistema endócrino (secreción de hormonas del estrés).

Las lesiones del núcleo central impiden la manifestación de todas estas respuestas, mientras que las lesiones en alguna de las vías de salida interrumpen únicamente la respuesta correspondiente.

INSERCIONES

Inserción 1: El miedo en animales y en humanos.

Comparación de medidas utilizadas generalmente para evaluar el miedo en animales y las utilizadas en el DSM-III (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 3ª ed. De Davis 1992) para evaluar la ansiedad generalizada en humanos.

Medidas de miedo en modelos animales	Criterios del DSM-III para diagnosticar ansiedad generalizada
Aumento de la frecuencia cardiaca	Palpitaciones
Disminución de la salivación	Sequedad de boca
Úlceras de estómago	Trastornos digestivos
Cambios de respiración	Aumento de respiración
Exploración y vigilancia	Exploración y vigilancia
Aumento del estado de alarma	Inquietud, fácil sobresalto
Micción	Micción frecuente
Defecación	Diarrea
Acicalamiento	Impaciencia
Paralización	Expectación aprensiva – algo malo va a suceder -

Inserción 2: El miedo en Psicopatología.

El “Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales” enumera como trastornos de ansiedad los siguientes:

- Fobias: son miedos ante estímulos o situaciones específicas que resultan desmesurados para la amenaza real que representan. La exposición a un objeto fóbico o a una situación fóbica provoca un profundo estado de ansiedad, llegando la persona a extremos insospechados para evitar el objeto o la situación.
- Ataques de pánico: son períodos de inquietud y ansiedad intensa, en los cuales la persona afligida a menudo siente como si le faltara el aire. Se diferencian de las fobias en que tales ataques no son previsibles y tampoco están relacionados con algún estímulo o situación externa. A menudo, el pánico va acompañado de agorafobia (temor a los espacios abiertos) y en los casos más graves, la evitación de las situaciones de pánico llevan a una existencia de recogimiento.

- Trastorno de estrés postraumático: es la presencia de una ansiedad aguda provocada por los estímulos que aparecieron durante un trauma externo o que están relacionados con estos estímulos. Por ejemplo, este trastorno se observa en los veteranos de guerra, en las víctimas de agresiones sexuales o físicas graves, así como las víctimas de catástrofes naturales. Estas personas intentan evitar las situaciones y hasta los pensamientos que le recuerdan el trauma.
- Trastorno obsesivo-compulsivo: se caracteriza por la presencia de pensamientos extraños, recurrentes y persistentes o conductas repetitivas que se ejecutan de un modo preciso como reacción a los pensamientos obsesivos. La conducta obsesiva tiene como objetivo neutralizar la ansiedad, pero esta conducta no corresponde con la situación real o es desmesurada respecto a la situación que se pretende neutralizar.
- Ansiedad generalizada: también conocida como ansiedad fluctuante, comporta una preocupación excesiva por asuntos inconexos durante un largo período de tiempo.

Bibliografía

El cerebro emocional – Joseph LeDoux – Ed. Ariel – Planeta (1999).

El error de Descartes. La razón de las emociones.- Antonio R. Damasio: Editorial Andres Bello (1994).

Neurociencia y Conducta. – Jessell, Kandel y Schwartz – Prentice Hall (1997).

Neurociencia: explorando el cerebro. – Bear, Connors y Paradiso – Masson (1996).

El síndrome de Klüver-Bucy causado por daño selectivo bilateral de la Amígdala y sus conexiones corticales – Ann Hayman; J.Rexer; M. Pavol; Daniel Strite; Christina Meyers – Journal of Neuropsychiatry – Vol. 10. Nº 3 – 1998.

El pasado de la mente – Michael S. Gazzaniga – Ed. Andres Bello (1998).

Sentir lo que sucede: cuerpo y emoción en la fábrica de la consciencia - Antonio R. Damasio: Editorial Andres Bello (2000).

Los circuitos de la emoción en el cerebro - Joseph LeDoux – Annual Reviews Neurosciences 2000. 23:155-184

La participación de lo emocional en la toma de decisiones – Vicente Simón – Psychology in Spain, 1998, Vol.2 No 1, 100-107.