

EL SISTEMA CEREBRAL DE RECOMPENSA, DEL APRENDIZAJE A LA ADICCIÓN

Pedro Benito López
Académico Correspondiente

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

Circuitos de recompensa.
Sistema límbico.
Endocannabinoides.
Endorfinas.
Adicción.

La producción cerebral de neurotransmisores como dopamina, o sustancia análogas a la morfina o cannabis, median nuestras motivaciones, deseos, emociones y placeres. Estas sustancias son esenciales en el funcionamiento del circuito de recompensa también conocido como sistema límbico, el cual controla no solo los comportamientos básicos para nuestra supervivencia como comer, beber o reproducirnos, sino también nuestra interacción social produciéndonos satisfacción o decepción. Cuando este sistema se estimula de manera potente y repetida, favorece la dependencia y la adicción al estímulo, sustituyendo el placer que produce, por la necesidad de repetirlo y su búsqueda compulsiva e irracional.

ABSTRACT

KEYWORDS

Reward circuitries.
Limbic system.
Endocannabinoids.
Endorphins.
Addiction.

Our motivations, desires, emotions and pleasures, are mediated by cerebral neurotransmitters production, like dopamine or analogous substances to morphine or cannabis. These substances are essential factors for the reward circuitry function, also known as limbic system, that is a mediator of our basic survival behaviors like eating, drinking or reproducing, and our social interaction too, generating feeling of satisfaction or disappointment in ourselves. The powerful or repeated stimulation of these stimuli encourage their dependence or addiction, being replaced the pleasure produced by the stimulus for the irrational and compulsive search of it.

INTRODUCCIÓN

Entender cómo reacciona el cerebro ante determinados estímulos, puede explicarnos muchos de nuestros comportamientos. Estos conocimientos pueden ayudar a comprendernos mejor, pero también pueden ser utilizados de manera negativa por los medios de comunicación para condicionar nuestras reacciones, o por nosotros mismos para convertirnos en dependientes o adictos, de manera que el placer que produce la respuesta al estímulo,

se convierte en una necesidad, lo que genera una búsqueda compulsiva del objeto deseado a pesar de ser consciente de que nos hace daño.

A lo largo de mi vida profesional he podido comprobar cómo las hormonas reguladoras del apetito o del sexo como la testosterona, actúan en el sistema de recompensa, compuesto por varios núcleos neuronales situados en la base del cerebro y regulados por la corteza cerebral, fundamentalmente el lóbulo frontal apoyado por otras áreas corticales como la de la memoria. Mientras que los núcleos de la base actúan de manera inmediata e inconsciente, mediando la mayor parte de nuestro comportamiento diario, la corteza actúa de manera más lenta, haciéndonos consciente de lo que hacemos, de modo que puede bloquear la respuesta. He tenido más de un problema al administrar testosterona en pequeñas dosis a varones deficientes de ella, aumentando su agresividad, o he estresado a más de un paciente al administrarle hormona tiroidea o corticoides. Estas experiencias están reflejadas en la literatura científica, la cual describe que algunas hormonas reguladoras del apetito tienen un efecto psicoestimulante, que la hormona liberadora de corticoides tiene un efecto estresante actuando directamente a nivel cerebral, o que otras hormonas como la oxitocina, la prolactina o los estrógenos favorecen la interacción social.

Al hacerme la pregunta de cómo actúan estas hormonas en el cerebro, conocí el llamado sistema o circuito de recompensa, anteriormente denominado sistema límbico, que no solo regula los comportamientos básicos para nuestra supervivencia, sino que también influyen en el comportamiento social humano, potenciando emotivamente los estímulos favorecedores de nuestra integración en el grupo. Hay que recordar que el ser humano ha sobrevivido a lo largo de su historia a otras especies más fuertes y agresivas, gracias a haberse defendido de ellas actuado en grupo.

El circuito hedónico colabora con el de recompensa potenciando su respuesta al estímulo, ya que le añade la sensación de placer a la necesidad de cumplir el deseo que dicho estímulo provoca, como por ejemplo sentir hambre o sed. La mayor diferencia que hay entre ambos circuitos, es que en el de recompensa actúa la dopamina como transmisor entre el estímulo y la respuesta, y en el hedónico los transmisores son la endorfina y los endocannabinoides, análogos a la morfina o al componente activo de la marihuana, que actúan en los mismos receptores neuronales.

Las técnicas de imagen cerebral como la resonancia magnética y la PET, la electrofisiología o la optogenética entre otras, nos han permitido conocer las áreas cerebrales que se activan en los seres humanos con los estímulos, las conexiones entre los componentes de los distintos sistemas, las características químicas de los neurotransmisores que actúa en ellas, del lugar en el que actúan en la neurona (receptores) y cómo lo hacen. Sin embargo todavía estamos en el umbral del conocimiento del funcionamiento cerebral, ya que entre otras cosas no conocemos como se almacena la memoria en las neuronas.

En un intento de sistematizar y simplificar estos complejos conocimientos, me referiré primero a cuáles son los estímulos del sistema de recompensa, aunque no

podré enumerar todos los estímulos sociales, ni cuales producen un sentimiento empático, o por el contrario de rechazo. Posteriormente me referiré a la localización cerebral y al funcionamiento de este sistema (más exactamente circuito), y cómo los estímulos expuestos conducen a la dependencia y en último término a la adicción.

Los conceptos básicos del sistema de recompensa (wanting) y del circuito del placer, denominado por algunos autores como del gusto (liking) se desarrollan con más detalles en los artículos 1 al 10.

ESTÍMULOS DEL SISTEMA DE RECOMPENSA

Hay dos tipos de estímulos, los primarios y los secundarios. Los primarios son más potentes que los secundarios, son fisiológicos y básicos para nuestra supervivencia siendo principalmente el hambre, la sed o el sexo. En general, las hormonas son las mediadoras de esta respuesta homeostática del organismo, para mantener su equilibrio. Estos estímulos están también presentes en los animales.

Los estímulos secundarios son muy numerosos y pueden ser:

- ANCESTRALES. Presentes tanto en los animales como en el ser humano. Su fin es defendernos de los peligros, como huir de un animal depredador en el caso de los animales, o de una situación amenazante en el caso del hombre.
- SOCIALES. Son estímulos múltiples que impulsan el fortalecimiento del grupo. La colaboración con amigos, la aceptación por el grupo, la amistad, la generosidad, el amor a otra persona, o el contemplar una cara agradable, producen satisfacción, lo cual ayuda a interactuar con otras personas, y a estimular la conciencia de grupo y su fortalecimiento. Por el contrario el desprecio, la superioridad, el egoísmo, el castigo injusto y otros comportamientos sociales, inducen rechazo. En el primer caso el efecto positivo producido por el estímulo se almacena en el núcleo accumbens, y en el segundo caso el efecto negativo en la amígdala cerebral.

Posteriormente se han desarrollado otros estímulos sociales no tan positivos, como la incitación al consumo, al acopio de dinero, a los juegos, a las apuestas, y muy recientemente al uso abusivo de las redes sociales como internet o el móvil, que utilizados sin control favorecen la individualidad y la dependencia a los mismos.

El ser humano puede generar sus propios estímulos, es decir son autoestimulados. Estos estímulos se generan en la corteza cerebral del sujeto, en el área de la memoria u otras áreas corticales que a través de corteza frontal estimula a los ganglios de la base para producir una recompensa. La memorización de recuerdos, la imaginación, la curiosidad, el arte, la música, o la religiosidad, favorecen el bienestar y el optimismo, y han sido potenciados, junto con otros estímulos sociales en algunos países como Islandia, para neutralizar los estímulos perjudiciales.

Por último, hay otros estímulos perjudiciales como el uso de drogas o el abuso del alcohol. Son estímulos muy potentes y actúan principalmente en el circuito hedónico o de placer donde tiene receptores específicos. Progresivamente la respuesta placentera a la droga va desapareciendo deteriorando la corteza frontal lo cual hace que el individuo pierda su capacidad de control.

VÍAS POR LA QUE LOS ESTÍMULOS PRODUCEN SU EFECTO

Los estímulos primarios garantizan la homeostasis del individuo de modo que actúan fundamentalmente a través de hormonas o neurotransmisores de manera automática. Las hormonas tienen receptores específicos en las neuronas del sistema de recompensa, a través de los cuales estimulan directamente la síntesis de dopamina en el núcleo que activa a todo el circuito que produce la recompensa. Se entiende científicamente por recompensa la relajación o la satisfacción que produce haber calmado el requerimiento producido por el estímulo.

Las hormonas que modifican los vínculos sociales actúan del mismo modo, aumentando la empatía la confianza y las emociones como la oxitocina, induciendo agresividad como la testosterona, o el estrés como la hormona estimuladora de la producción de corticoides CRH. Los estímulos sociales se originan en los órganos de los sentidos, sobre todo en la vista y en el oído donde producen un potencial de acción. El potencial de acción se produce por una despolarización de la membrana celular de las células receptoras, que se transmite como un estímulo eléctrico a través de sus axones al área cerebral de recompensa, aumentando la síntesis de los neurotransmisores mediadores de la respuesta. Los estímulos sociales generan emociones que inducen comportamientos no conscientes, automáticos e inmediatos, que facilitan nuestra interacción con el entorno. Este sistema es el que genera la mayor parte de nuestro comportamiento a lo largo del día, sin que la actividad cognitiva la regule directamente, ya que si lo hiciera nuestras respuestas serían mucho más tardías. Cuando nuestras experiencias se comparten con otra persona conocida o amiga, la activación del sistema de recompensa es más potente.

Los artículos que exponen con más detalles los distintos estímulos del sistema de recompensa, y el mecanismo hormonal o por neurotransmisores por el que actúan, son los referidos entre el número 11 y el 21.

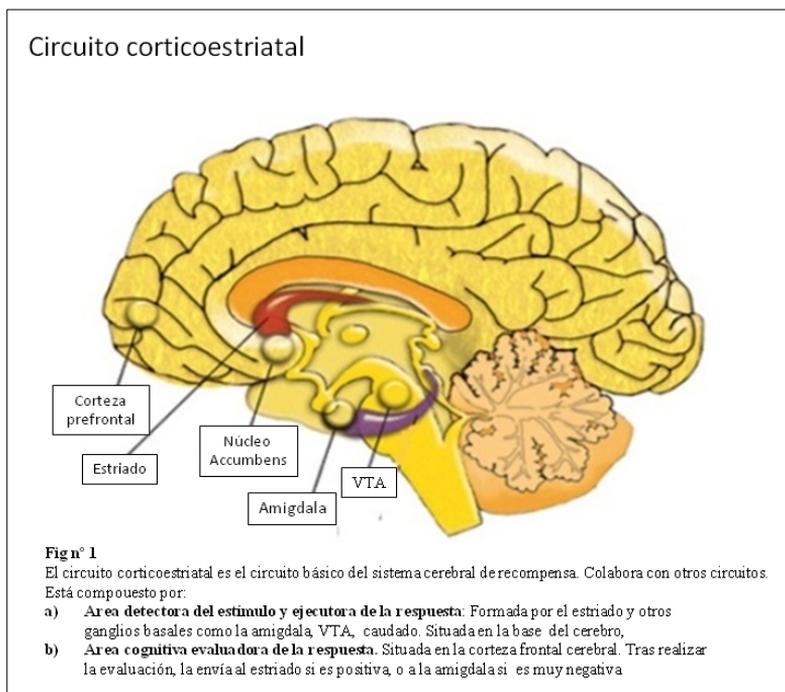
Las neuronas espejo cerebrales situadas en la corteza frontal y parietal, son también mediadoras de la respuesta a los estímulos sociales, sobre todo generando empatía, es decir la capacidad de compartir emotivamente el sentimiento de la persona con la que interaccionamos. Reciben este nombre no solo porque se comporta como un espejo emocional, sino que también son esenciales en el aprendizaje por imitación, tan importante en los primeros años de vida. Su deterioro funcional favorece el autismo, habiéndose comunicado que la administración intranasal de oxitocina mejora la interacción social de los autistas (22,23).

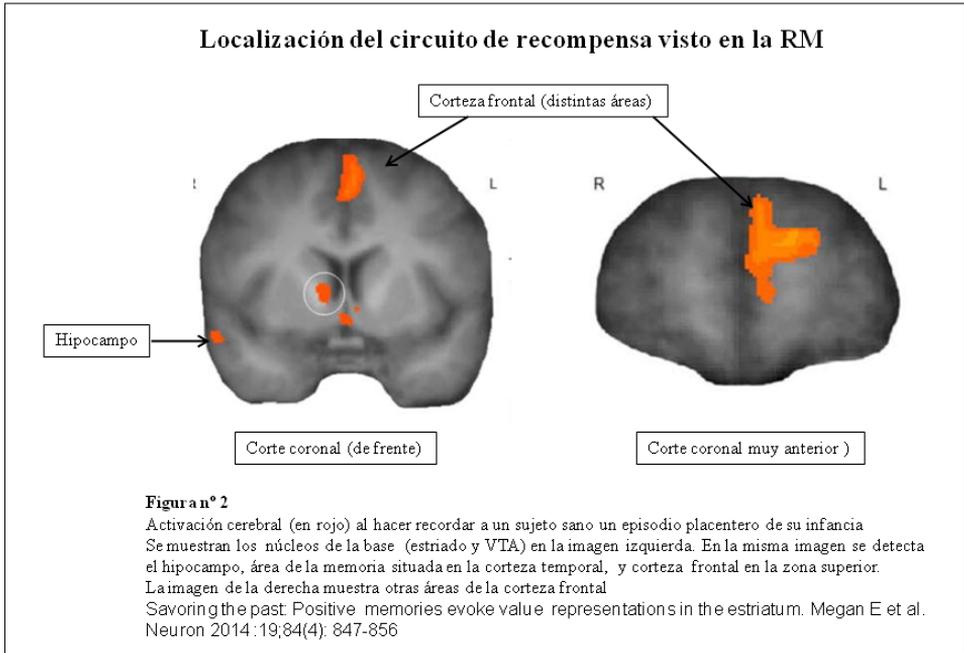
LOCALIZACIÓN DEL CIRCUITO CORTICOESTRIATAL DE RECOMPENSA EN EL CEREBRO

El circuito corticoestriatal es el que básicamente genera las emociones y la motivación para conseguir la recompensa a los estímulos aludidos. Tiene dos componentes:

- a) Los ganglios basales cerebrales, fundamentalmente el núcleo accumbens del estriado, y la amígdala cerebral. Están situados en la parte central del cerebro, y genera las emociones y el deseo como respuesta automática al estímulo. Su neurotransmisor fundamental es la dopamina.
- b) El área controladora del circuito es la corteza frontal que valora cognitivamente la respuesta obtenida con estímulo. Para ello, la compara con las experiencias previas y las enseñanzas relacionadas con él, guardadas en el área de la memoria (hipocampo) y en el área cognitiva (corteza cingulada), ambas situadas en la corteza temporal. Una vez elaborada la conclusión, si es positiva la envía al estriado donde se guarda y se presenta automáticamente ante la repetición del mismo estímulo. Por el contrario si la experiencia ha sido negativa o aversiva, la envía a la amígdala cerebral donde se guarda para presentarse ante el mismo estímulo para ser rechazado. Cada estímulo tiene una expectativa de recompensa diferente, guardada en el estriado o en la amígdala.

En la figura nº 1 se muestra un esquema de los núcleos de la base y de la corteza frontal, y en la figura nº 2 se muestra una imagen de resonancia magnética cerebral, realizada a una persona a la que se le hecho recordar un episodio placentero de su infancia.





Con el circuito corticoestriatal, que es el principal del sistema de recompensa, colaboran otros circuitos. Estos circuitos colaboradores ejecutan la respuesta al estímulo y son entre otros el circuito motor, mediador de los movimientos necesarios para obtener la recompensa, el del dolor, el circuito simpático que induce relajación y bienestar, o el circuito parasimpático que produce estrés y tensión muscular. Los circuitos de la memoria (hipocampo) o cognitivo (corteza cingulada) colaboran con el lóbulo frontal (área prefrontal) en la evaluación de la respuesta. Los estímulos negativos que provocan el rechazo están mediados por la amígdala.

El circuito hedónico se superpone en mucho de los estímulos al circuito de recompensa y merece un análisis algo más detallado. Este circuito es menos conocido y está compuesto por nidos de neurona situados en distintos núcleos que se entrelazan entre sí a través de sus axones. Unos nidos estimulan el placer (hospost) y otros lo reducen (coldpost). Sus neurotransmisores son la endorfina y los endocannabinoides. La respuesta del circuito de recompensa y del circuito hedónico o de placer, suelen sumarse, aunque suelen predominar una sobre la otra dependiendo del estímulo, algunos son eminentemente placenteros y otros responden sólo a una necesidad fisiológica. Un ejemplo de esta superposición lo proporciona la comida, se come habitualmente por necesidad, pero en muchas ocasiones se come por placer o para calmar el estrés o la depresión. Fui consciente de la importancia que este circuito tiene en la respuesta y la regulación de la comida, cuando investigábamos el efecto de un fármaco antiobesidad bloqueante de los receptores de cannabis. El fármaco tuvo que retirarse antes de salir al mercado porque produjo en otros centros de investigación europeos, depresiones e incluso algún suicidio. La explicación

que dieron los fisiólogos que participaron en el estudio, fue que el fármaco anuló el placer que muchas personas buscan con la comida, sobre todo los estresados o los deprimidos.

La literatura científica no especifica bien la diferencia que existe entre la recompensa y el placer. Identifica a la recompensa con la sensación de bienestar y de satisfacción que sentimos tras haber cumplido con el deseo generado por cualquiera de los estímulos. Este estado suele acompañarse de una relajación y disminución de la angustia o del miedo, y en algunos casos con determinados movimientos necesarios para conseguir el objetivo. El placer o el gusto es más satisfactorio y no responde a una necesidad sino a la atracción originada por el propio estímulo. Es decir, no satisface a una necesidad (wanting en la literatura anglosajona), sino a un gusto por el estímulo (liking).

¿CÓMO RESPONDE EL SISTEMA DE RECOMPENSA AL ESTÍMULO, Y CÓMO INDUCE EL APRENDIZAJE?

Se pueden diferenciar cuatro fases:

- 1ª. Presentación de una expectativa de recompensa, ejecución, y obtención.
- 2ª. Valoración cognitiva de la recompensa obtenida.
- 3ª. Error de predicción.
- 4ª. Actualización de la expectativa. Aprendizaje basado en el error

Pondré un ejemplo clásico en los estudios realizados:

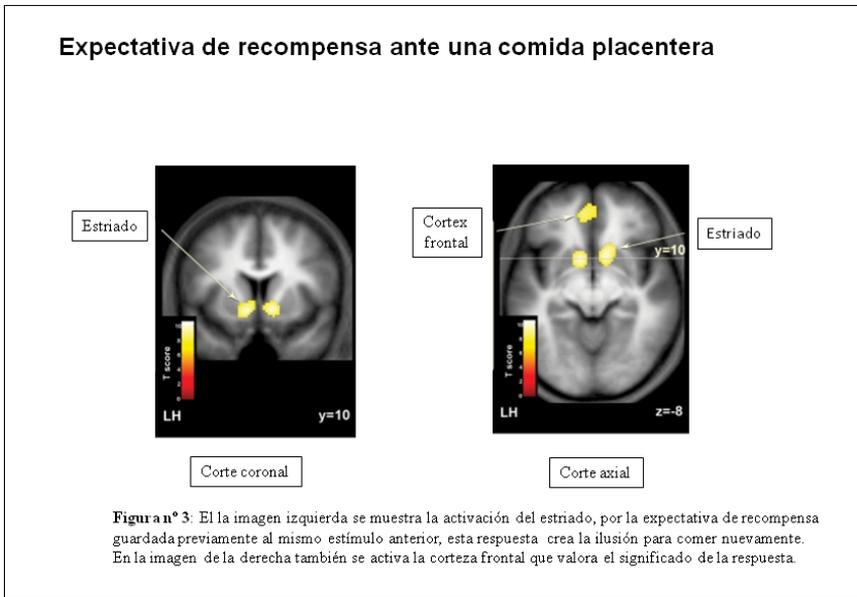
Se le propone a un sujeto, solo o con un amigo, una apuesta monetaria (puede valer una comida de gourmet, un concierto de una gran orquesta, etc.). La respuesta cerebral a la que me voy a referir se detecta por RM o PET realizada desde la oferta hasta que ha obtenido la respuesta. En algunos casos se ha hecho un doble estudio ambos con el mismo estímulo, para detectar si la motivación cerebral es diferente en el caso de que la primera respuesta haya sido gratificante o por el contrario haya sido decepcionante.

1º. EXPECTATIVA DE RECOMPENSA

Cuando el sujeto recibe una propuesta de juego monetario (estímulo) se genera una ilusión, activándose el núcleo accumbens que forma parte del estriado en el caso de que la última respuesta al mismo estímulo haya sido positiva. Si la última vez que jugó tuvo una gran pérdida, se activa la amígdala cerebral de modo que rechaza participar nuevamente en el juego. En ambos casos la reacción emocional es inmediata. Esto sucede así porque la valoración de la recompensa de la última vez que jugó se almacena en el estriado si fue positiva, o en la amígdala si fue negativa. La corteza cerebral valoró el significado del resultado de la apuesta anterior y la envió a dichos núcleos donde se almacena, para que la respuesta ante el estímulo repetido responda a la experiencia previa y sea inmediata sin necesitar valoración

previa. La respuesta almacenada se conoce como expectativa de recompensa. En el caso de que hubiera un estímulo positivo nuevo asociado al principal (por ejemplo apostar asociado a la colaboración con amigos) el estímulo positivo podría superar al negativo. En el caso de que el sujeto sea un adicto al juego o a la droga, dado que la adicción deteriora la capacidad cognitiva de la corteza, y por lo tanto el control, el sujeto apostaría nuevamente aunque se hubiera arruinado con la pérdida anterior. Es importante señalar que los estímulos asociados pueden generar la misma reacción o deseo que el principal, aunque esté ausente. Por ejemplo, un adicto a la droga rehabilitado, puede recaer, solo por asistir al lugar en el que la ha tomado, o por encontrarse con los amigos con los que se drogaba. El estriado o la amígdala activarían a los circuitos colaboradores que hemos señalado, para producir la respuesta correspondiente. Hay una expectativa de recompensa específica para cada estímulo, guardada en el estriado o en la amígdala.

En la figura nº 3 se muestra la activación cerebral positiva ante la ilusión de realizar una comida satisfactoria.

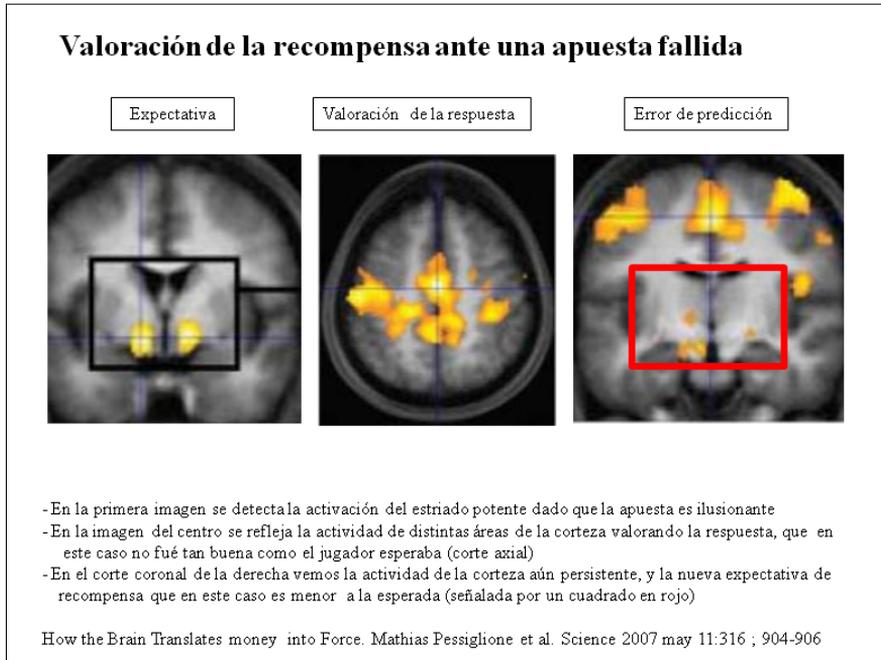


2º. VALORACIÓN DE LA RECOMPENSA

Se realiza tras haber obtenido la respuesta real al estímulo. La elabora el cortex frontal para lo cual, además de recibir la respuesta del estriado, conecta con otras áreas de la corteza para compararla con experiencias previas, aprendizajes relacionados o estímulos asociados. Una vez realizada la nueva valoración de la respuesta, la envía al estriado o a la amígdala según sea el signo positivo o negativo sustituyendo a la expectativa de recompensa anterior. La siguiente vez que se presente el mismo

estímulo se activará el núcleo correspondiente con la última respuesta recibida y almacenada

3°. ERROR DE PREDICCIÓN



4°. APRENDIZAJE DE RECOMPENSA

La experiencia obtenida con la respuesta al estímulo, no solo se envía al los núcleos de la base, también se envía a otras áreas de la corteza como la de la memoria. En estas zonas se guardan todas las experiencias obtenidas a lo largo de la vida, que valoradas conjuntamente con otros conocimientos aprendidos o enseñados, modulan el comportamiento consciente del individuo, esencial en la conformación de su personalidad. Este proceso de corrección y actualización de la recompensa recibe el nombre de aprendizaje de recompensa, y es básico para nuestro comportamiento emotivo, caracterizado por ser inconsciente e inmediato. El aprendizaje fisiológico basado en la corrección del error, hace que el individuo tienda a buscar los estímulos beneficiosos para su supervivencia, y evitar los perjudiciales como la exposición al riesgo o a situaciones amenazadoras. Este mismo mecanismo de aprendizaje también se da en los animales.

Algunos estudios realizados en adolescentes sugieren que su comportamiento típico de búsqueda de riesgo y de novedad, se debe a un menor control de la corteza sobre el área de la respuesta emotiva debido a que su maduración es algo más tardía que la de los ganglios de la base.

Otra forma básica de aprendizaje cerebral es el “aprendizaje por imitación”, básico en los primeros años de vida, tanto en los animales como en el ser humano. La observación de determinadas actitudes, sobre todo maternas, se vehiculan a través de las neuronas espejo del niño, las cuales se conectan con su área emotiva produciendo en ella la misma respuesta que la de los padres. Este tipo de aprendizaje enfatiza la importancia de la educación comportamental en el ámbito familiar, en los primeros dos o tres años de vida del niño. Un claro ejemplo de ello lo proporciona la cría de un simio que huye de un animal depredador solo por haber visto la cara que la madre puso cuando lo vio en su presencia, si no hubiera sido así la cría no hubiera sobrevivido a la primera amenaza.

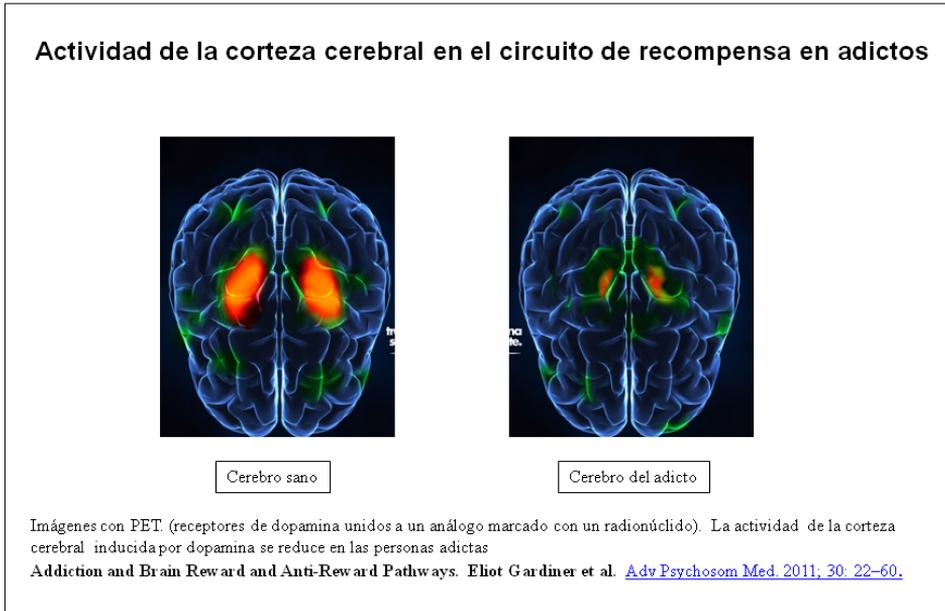
DEPENDENCIA Y ADICCIÓN

Entendemos por dependencia la búsqueda insistente de un estímulo concreto, dándole prioridad sobre cualquier otro. Durante este periodo, la necesidad de obtener la recompensa está inducida tanto por el deseo como por el placer. La satisfacción que produce el uso frecuente y repetitivo del estímulo va disminuyendo progresivamente, ya que los receptores de los neurotransmisores, principalmente los del placer van disminuyendo hasta desaparecer. Este fenómeno es más intenso y rápido con las drogas, ya que estimulan directamente a los receptores de endocannabinoides y endorfina propios de este circuito. De este modo, aunque los niveles de cannabis o morfina se eleven, disminuye su respuesta placentera siendo sustituida por el deseo y en último término la necesidad del estímulo. En la fase de dependencia, el individuo no tiene aún un gran deterioro cognitivo, por lo que su comportamiento no es peligroso para sí mismo ni para la sociedad, ya que puede controlarlo.

El mecanismo por el cual disminuye el número de receptores de membrana, es muy conocido por los endocrinólogos, se denomina “down regulation” y origina numerosas enfermedades como por ejemplo la diabetes del adulto como consecuencia de la obesidad extrema.

Con el uso excesivo del estímulo (principalmente drogas o alcohol), no solo desaparece la respuesta placentera, sino que también se produce un deterioro de la corteza cognitiva controladora del comportamiento. En esta situación, el individuo ha entrado en el estado de adicción y tiene una búsqueda compulsiva del estímulo a pesar de ser consciente del peligro que representa tanto para él, como para las personas que le rodean y para la sociedad en general, perdiendo su trabajo, separándose de su pareja o de su familia o delinquiendo. Esta situación le puede llevar a la muerte. Este comportamiento no solo se da en los humanos, también se ha demostrado en los animales. Si se le enseña a una rata a estimularse el placer mediante un electrodo colocado en dicha área, repite insistentemente el estímulo apretando un botón, hasta llegar a morir de hambre y de sed, a pesar de tener a su disposición comida y agua.

En la figura n° 5 expongo el deterioro de la corteza cerebral del adicto comparada con la de un individuo sano, demostrada por PET.



Las dependencias y adicciones más conocidas son las de las drogas, del alcohol o del tabaco, pero hay otras dependencias menos conocidas, que ocasionalmente pueden llegar a la adicción, muchas de las cuales son estimuladas por la sociedad en la que vivimos. Entre otras podemos citar:

- La dependencia a la comida o a la bebida, favorecida en muchos casos por los problemas personales como el estrés o la depresión, pero que también es fomentada por la publicidad o determinados círculos sociales ya que induce placer. Habitualmente la comida no induce dependencia y menos aún adicción, solo induce obesidad. Sin embargo la obesidad compulsiva que puede inducir a ingerir hasta 7000 calorías en una sola comida de alimentos dulces y sabrosos, provocándose después el vómito como arrepentimiento, es muy similar al comportamiento del adicto a drogas.
- La búsqueda del placer a través del sexo puede convertirse en una dependencia o una adicción, aunque su práctica prudente es positiva, este estímulo puede estar favorecido por la publicidad u otros hábitos sociales en personas predispuestas a ello. Ejemplos recientes, lo tenemos en varios actores de Hollywood que han perdido su prestigio por haberse descubierto su agresividad sexual, o de un expresidente del FMI que tuvo que renunciar a su cargo por abuso sexual.

- El uso abusivo e incontrolado de las redes sociales ha incrementado la existencia de grupos de pederastas, que terminan teniendo relaciones anormales con su pareja y que cierran su círculo social, exponiéndose a tener problemas con la justicia.
- Hay adictos al juego que han perdido su patrimonio en las apuestas, adictos a las compras que no necesitan, adictos al poder o al dinero que sacrifican su felicidad y la de los que le rodean, e incluso se ha descrito una dependencia al trabajo que los anglosajones denominan como “workaholic”.
- También hay actitudes similares a la dependencia que son positivas y no adictivas como la lectura, la música o el deporte, este último cuando es extremo eleva los niveles endógenos de endorfinas. El ejercicio racional y controlado de este tipo de estímulos es muy positivo y no llega a crear adicción. Un ejemplo de ello es que en Islandia se ha reducido la drogadicción en adolescentes, fomentándoles la práctica del deporte u otras actividades comunes.

Podría seguir mostrando ejemplos de cómo este mecanismo de aprendizaje que ha puesto la naturaleza en nuestro cerebro para sobrevivir, puede producir comportamientos positivos o perjudiciales para el individuo que lo practica y para la sociedad. El uso de estos estímulos sociales no es peligroso en sí mismo, y no tiene por qué ser abolido ya que dichos estímulos son necesarios para la supervivencia o para la interacción social. La naturaleza nos enseña que su uso debe ser racional y moderado, ya que su abuso puede llegar a ser muy perjudicial para nosotros mismos y para la sociedad.

Los artículos que se refieren a la dependencia y a la adicción son los referidos entre el 24 y el 26.

CONCLUSIONES

En la última década se ha progresado mucho en el conocimiento del funcionamiento del cerebro, no obstante aún queda mucho por conocer. Estos conocimientos pueden ser útiles no solo para entendernos a nosotros mismos, sino también para favorecer una interacción social positiva. Es de resaltar que muchos de los efectos positivos que en nuestro cerebro tienen determinados comportamientos como la amistad, la generosidad o la ayuda a otras personas, proporcionan una base fisiológica a muchos de los comportamientos éticos que se han aconsejado en casi todas las culturas a lo largo de nuestra historia. Por el contrario también pueden utilizarse de una manera negativa fomentando falsas ilusiones, estimulando compras innecesarias, comer en exceso alimentos muy apetitosos, lo cual puede favorecer determinadas dependencias. La llamada neuropublicidad ya utiliza estos conocimientos desde hace tiempo para favorecer el consumismo propio de la sociedad actual. La “postverdad” o la denominada “fake news”, difunden por las redes sociales eslóganes muy emotivos pero no veraces, creando desconcierto o falsas creencias en los que lo reciben. Ejemplo de ello es los que se difundió en el Brexit “fuera de Europa viviremos

mejor”, o el de Trump “América primero” con el objetivo de condicionar a la población y conseguir el objetivo que se proponen.

Estos conocimientos refuerzan las observaciones ancestrales que han originado refranes como “Tanto peca lo mucho como lo poco” o “En el término medio consiste la virtud”. El problema radica en encontrar el término medio, que no es fijo y que está influido por las circunstancias.

Es también notorio que el cerebro utiliza el mecanismo de aprendizaje ensayo-error-corrección, o dicho en otros términos “el aprendizaje por la experiencia”, siendo resaltable que las experiencias negativas como por ejemplo el castigo provocan rechazo por parte del que lo recibe. Ello hace recomendable que crear ilusión, estimular el razonamiento y la corrección de errores por parte del maestro, sea más recomendable. Aunque esta parece ser la orientación de la enseñanza actual, no es sencilla de realizar ya que requiere imponer ciertos límites y adaptarla a estudiantes muy diversos. Esta ha sido mi experiencia a lo largo de mi carrera como docente en la Facultad de Medicina.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTON-JONES, G. et al. “Lateral hypothalamic orexin/hypocretin neurons: A role in reward-seeking and addiction”. *Brain Res.* 2010; 74: 1314.
- BÁEZ-MENDOZA, R, SCHULTZ, W. “The role of the striatum in social behavior”. *Front Neurosci.* 2013: 10 (7):233.
- BAIK, J.H. et al. “Dopamine signaling in reward-related behaviors”. *Front Neural Circuits.* 2013;7; 152-174.
- BEFORT, K. “Interactions of the opioid and cannabinoid systems in reward: Insights from knockout studies”. *Front Pharmacol.* 2015;6: 214-232.
- BERRIDGE, K.C. et al. “Pleasure systems in the brain”. *Neuron.* 2015 86(3): 2015 646–664.
- CASTRO, D.C. et al. “Advances in the neurobiological bases for food 'liking' versus 'wanting'”. *Physiol Behav.* 136: 2014 22-30.
- ERNST, M. et al. “Neuroimaging of the Dopamine/Reward System in Adolescent Drug Use”. *CNS Spectr.* 2015 4: 427–441.
- FIGLEWICZ, D.P. et al. “Modulation of Food Reward by Endocrine and Environmental Factors: Update and Perspective”. *Psychosom Med.* 2015: 77(6); 664-70.
- GARDNER, E.L. et al. “Introduction: Addiction and Brain Reward and Anti-Reward Pathways”. *Adv Psychosom Med.* 2011: 30;22–60.
- GORDON, I., et al. “Circuitry Supporting Social Motivation and Social Perception in Children with Autism”. *Sci Rep.* 2016; 6: 350-54.
- HABER, S.N. et al. “The reward circuit: linking primate anatomy and human imaging”. *Neuropsychopharmacology.* 2010: 35(1):4-26.
- JAMIL, P. et al. “The Social Brain and Reward: Social Information Processing in the Human Striatum”. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci.* 2014: 5(1); 61–73.
- JOCHAM, G. et al. “Reward-Guided Learning with and without Causal Attribution”. *Neuron.* 2016; 90(1): 177-90.

- LUO, L. et al. "Neural systems and hormones mediating attraction to infant and child faces". *Front Psychol.* 2015; 17(6); 970-92.
- MCHENRY, J.A. et al. "Maternally responsive neurons in the bed nucleus of the stria terminalis and medial preoptic area: putative circuits for regulating anxiety and reward". *Front Neuroendocrinol.* 2015; 38; 65–72.
- MEGAN, E. et al. "Savoring the past: Positive memories evoke value representations in the striatum". *Neuron.* 2014; 84(4): 847–856.
- MEHTA, P.H. et al. "Neural mechanisms of the testosterone-aggression relation: the role of orbitofrontal cortex". *J. Cogn Neurosci.* 2010; 10; 2357-68.
- NAVRATILOVA, E. et al. "Reward and motivation in pain and pain relief". *Nat Neurosci.* 2014;10: 1304-12.
- PESIGLIONE, M. "How the Brain Translates Money into Force. A Neuroimaging Study of Subliminal Motivation". *Science.* 2007: 316; 904–906.
- RIZZOLATTI, G. et al. "Mirror neurons and their clinical relevance". *Nature Clinical Practice Neurology* (2009) 5, 24-34
- SCHULTZ, W. "Reward and Decision Signals: From Theories to Data". *Physiol Rev.* 2015; 95(3): 853–951
- SCHULTZ, W., DAYAN, P.A. et al. "Neural substrate of prediction and reward". *Science* 1977: 275;1593–1599
- SILBERMAN, Y. et al. "Emerging role for corticotropin releasing factor signaling in the bed nucleus of the stria terminalis at the intersection of stress and reward". *Front Psychiatry.* 2013 4; 42.
- VOON, V. et al. "Neural correlates of sexual cue reactivity in individuals with and without compulsive sexual behaviours". *PLoS One.* 2014;9(7): e102419.
- WELLMAN, P.J. et al. "Ghrelin and ghrelin receptor modulation of psychostimulant action". *Front Neurosci.* 2013; 7;171.
- ZHU, Y. et al. "Molecular and Functional Imaging of Internet Addiction". *Biomed Res Int.* 2015; (3) 78675.