



Artículo de revisión

Bases neurales de la toma de decisiones e implicación de las emociones en el proceso

The neural basis of the decision-making and emotional processes involved

Bases neurais da tomada de decisão e implicação das emoções neste processo

Luis Felipe Sarmiento-Rivera¹ y Jorge Alexander Ríos-Flórez^{2*}

1 Facultad de Educación y Ciencias Sociales, Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, Medellín, Colombia.

2 Director del Grupo de Estudio e Investigación en Neurociencias Hippocampus, Colombia. Investigador-Doctorando, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

Resumen

Este artículo se ha propuesto como una revisión de las investigaciones que han surgido en la última década en el campo de la neurociencia, y que se hayan relacionadas con la actividad neurobiológica y funcional de la toma de decisiones por parte del ser humano. Así, ha sido posible identificar y dar cuenta de las estructuras del sistema nervioso central que son claves en la comprensión de los procesos relacionados con la toma de decisiones, y a su vez han permitido establecer el rol de las emociones como influencia determinante en este proceso. De igual forma, las investigaciones han posibilitado conocer cómo se lleva a cabo la actividad de tomar decisiones en el cerebro, las relaciones entre las diversas regiones y cómo las emociones guían el resultado. Además, se ha llegado a destacar dos sistemas que explicarían el proceso de la toma de decisiones, uno asociado a la intuición (sistema práctico), donde se destaca la actividad metabólica de la amígdala cerebral y sus redes neuronales; otro que corresponde al razonamiento (sistema analítico), en el cual resalta la participación de las conexiones neuronales de la porción ventromedial del córtex prefrontal.

Palabras clave: amígdala, cognición, corteza prefrontal, emociones, Iowa gambling task, toma de decisiones

Abstract

This paper has proposed a review of the research that has been appearing in the last decade in the field of neuroscience, and the relationship with the neurobiological and functional activity of the human decision making. Therefore, it has been possible to identify and inform the key structures of the central nervous system in the comprehension of the related processes, and it has allowed to establish the important influence of the emotion in this process. Also, the research has allowed to know how the decision-making process has been referred in the brain, the relationship between the different brain regions and the emotion who led the outcome. Thus, there are two systems involved in the decision making process; one related with the intuition (practical system), where the metabolic activity of the cerebral amygdala is remarked with their neural networks, and other related with reasoning (analytical system), in which, is important to note the involvement of the ventromedial portion of the prefrontal cortex.

Keywords: amygdala, cognition, prefrontal cortex, emotions, Iowa gambling task, decision making

Resumo

Este artigo foi proposto como uma revisão das pesquisas que surgiram na última década no campo da neurociência, e que tem sido relacionada à atividade neurobiológica e funcional da tomada de decisão pelo ser humano. Assim, foi possível identificar e explicar as estruturas do sistema nervoso central que são fundamentais na compreensão dos processos relacionados à tomada de decisões e, por sua vez, permitiram estabelecer o papel das emoções como influência determinante nesse processo. Da mesma forma, a pesquisa permitiu saber como é a atividade de tomada de decisão no cérebro, as relações entre diferentes regiões e como as emoções orientam o resultado. Ademais, foram destacados dois sistemas que explicam o processo de tomada de decisão, um associado à intuição (sistema prático), que enfatiza a atividade metabólica da amígdala cerebral e suas redes neurais; outro correspondente ao raciocínio (sistema analítico), no qual as conexões neuronais da porção ventromedial do córtex pré-frontal são destacadas.

Palavras-chave: amígdala, cognição, córtex prefrontal, emoções, Iowa gambling task, tomada de decisão

Introducción

A lo largo de la historia, antigua y moderna, se ha considerado a los seres humanos como seres racionales; inclusive los pensadores de la antigua Grecia consideraban que las decisiones que estos toman son producto de un cuidadoso análisis y están basadas en el razonamiento (Lehrer, 2009). Esta

forma de pensar se ha mantenido sin fluctuaciones a través de la historia, así, desde el origen de la existencia del ser humano éste se ha visto en la necesidad de tomar decisiones constantemente. Cada día tomando decisiones, desde el qué comer, hasta qué hacer con cada aspecto y en cada circunstancia de su vida, decisiones que varían en intensidad y magnitud, desde las más simples hasta las más complejas y dicotómicas. De esta manera, tomar decisiones es

* Correspondencia: Alexander Ríos Flórez. Caixa Postal 1511 - Campus Universitario, 59078-970, Laboratorio de Anatomía, Departamento de Morfología, Centro de Biociencias, UFRN, Natal, RN – Brasil. E-mail: alexanderriosflorez@gmail.com.

una tarea cognitiva de gran importancia para de los seres humanos (Pardo-Vásquez & Acuña, 2014; Hammerstein & Stevens, 2012), directamente relacionada con la adaptación, el sobrevivir y la reproducción.

En la actualidad, las investigaciones relacionadas con la toma de decisiones tienen diversas vertientes. De un lado, la económica conductual ha trabajado especialmente tres tipos de decisiones: decisiones en condición de certidumbre, decisiones en condición riesgo/incertidumbre y decisiones en condición de ambigüedad (Shiv, Loewenstein & Bechara, 2005). Por su parte, desde el campo de la psicología, se han tenido tres focos principales para el estudio de las emociones (Johnson & Ratcliff, 2014): las decisiones en condición de incertidumbre (comprar o no determinado seguro, comprar un boleto de lotería); las decisiones a través del tiempo (como decidir si estudiar para un examen que se presentará en el futuro relativamente distante o irse de fiesta en esa noche) y las decisiones morales. Al mismo tiempo, aparecen otros tipos de decisiones, como el estudio de las decisiones simples -escoger entre una manzana y una pera- (Krajbich, Armel & Rangel, 2010) o también, las decisiones perceptivas, que refieren al hecho de escoger una opción entre varias alternativas con base a la información sensorial disponible (Heekeren, Marret & Ungerleider, 2008; Gold & Heekeren, 2015).

Los estudios de la toma de decisiones inician dentro del campo de la economía alrededor de 1930, buscando responder cómo se podrían predecir las decisiones y comportamientos de las personas en los mercados económicos (Glimcher & Fehr, 2015; Rangel, 2009). Sin embargo, y más recientemente, para poder entender mejor la toma de decisiones, la psicología y las neurociencias se han sumado a sus estudios (Fellows, 2007; Burke & Tobler, 2011; Kenneth, Yates, Meister, Huk & Pillow, 2015). La economía pretendió explicar la forma en la que se toman las decisiones basándose en la utilidad; estas teorías de toma de decisiones se centran en la forma en que las personas evaluaban la deseabilidad y la probabilidad de recibir las ganancias y evitar las pérdidas de las diferentes alternativas e integraban esta información haciendo algún tipo cálculo basado en la expectativa para llegar a una decisión (Loewenstein, Hsee, Weber & Welch 2001; Glimcher, 2009; Wunderlich, Rangel & O'doherty, 2010). Posteriormente, y en contravía de lo que se ha observado desde las teorías económicas, se encuentra que la toma de decisiones es un proceso que está guiado por las emociones, logrando estas últimas agilizarla y simplificarla (Martínez-Selva, Sánchez-Navarro, Bechara & Román, 2006; Carmere, Loewenstein & Prelec, 2004). De esta manera, la emoción se vuelve un componente central en el estudio de la toma de decisiones.

1. La Emoción

El estudio de "la emoción" ha sido de interés para filósofos y científicos a lo largo de la historia. Charles Darwin, por ejemplo, observó que las emociones han evolucionado con una funcionalidad clara y son fundamentales para la reproducción y supervivencia (Moors, 2013). Por su parte, recientemente el neurobiólogo Antonio Damasio señaló que las emociones y sentimientos llegan inclusive a formar parte de la razón. No obstante, en ocasiones las emociones y sentimientos conllevan a errores en los procesos de razonamiento. Sin embargo, curiosamente la falta de las emociones en el razonamiento acarrea errores y consecuencias mayores. Específicamente, las emociones ayudan a tomar decisiones (Roselló & Revert, 2008; Wu, Sacchet, & Knutson, 2012), ayudan a predecir y a emitir juicios, formar intenciones y planificar nuestras acciones, procesos que no podrían realizarse sin una carga emocional.

1.1. Hipótesis del Marcador Somático

El marcador somático, propuesto por Damasio (1998), se indica como un cambio fisiológico manifiesto a nivel corporal que refleja un estado emocional (somatización) y puede afectar directamente la toma de decisiones (Martínez-Selva et al., 2006). Esta respuesta emocional viene dada por la experiencia o el aprendizaje resultante de situaciones anteriores y/o similares. El marcador somático es de gran utilidad en el proceso de toma de decisiones, puesto que lo facilita y agiliza (Fonfria et al., 2015; Bechara, Damasio, Tranel & Damasio, 2005). Esta hipótesis ha sido ampliamente estudiada en pacientes con daño en las porciones ventromediales de los lóbulos frontales. Los sujetos con este tipo de lesiones son similares al famoso caso neuropsicológico de Phineas Gage; un capataz férreo que trabajaba en las vías del tren y una explosión accidental hizo que una barra de hierro le atravesara la corteza prefrontal medial, generando entre otras incapacidades cognitivas, deficiencia para tomar decisiones (Greene & Haidt, 2002; Contreras, Catena, Candido, Perales & Maldonado, 2008).

En esta vía, Elliot, un paciente de Damasio, se hizo famoso al ser sujeto de estudio por un tumor que se le extrajo de la corteza prefrontal

ventromedial. Posterior a la intervención se encontró que éste era incapaz de tomar decisiones, lo cual hacía extremadamente difícil su cotidianidad. A consecuencia de ello, fue despedido de su trabajo, su esposa lo dejó, e inclusive llegó a quedar en bancarrota. El caso de Elliot se considera el inicio de los estudios donde se encontró que las emociones son cruciales para la toma de decisiones (Damasio, 1998; Lehrer, 2009).

Al igual que Elliot, los pacientes con lesiones en las regiones prefrontales ventromediales estudiados por Damasio tienen déficits emocionales y, específicamente, son incapaces de generar y usar efectivamente el marcador somático, lo cual repercute en su forma de tomar decisiones (Contreras et al., 2008; Ramos, 2015). Estas dificultades se observan más exactamente a la hora de producir una respuesta normal en conductancia de la piel a la hora de tomar decisiones, como en la prueba Iowa Gambling Task -que simula la toma de decisiones en la vida real- donde estos pacientes tienen un bajo rendimiento. Estas deficiencias en la toma de decisiones se presentan aún cuando las funciones cognitivas del paciente -medidas por pruebas de Cociente Intelectual- se encuentran en rangos normales (Greene & Haidt, 2002; Márquez, Salguero, Paño & Alameda, 2013).

1.2 La emoción como guía de las decisiones

En los últimos años, las investigaciones en torno a los procesos que influyen sobre una decisión a tomar, plantean a la *toma de decisiones* no como un mero proceso racional, como antes se había abordado, sino que involucra a las emociones adquiridas por experiencia o situaciones similares tanto propias como vicarias del individuo (Martínez-Selva et al., 2006; Lempert & Phelps, 2015). De esta manera, y de acuerdo con Lempert y Phelps (2015), las emociones incitan a la acción en una decisión, observándose en comportamientos tales como la evitación o la aproximación.

Así mismo, Lempert y Phelps (2015) también señala que las decisiones son susceptibles de ser influenciadas por los estados emocionales. El estrés, por ejemplo, puede afectar la toma de decisiones. Dato importante, ya que constantemente, en el día a día, se suelen tomar decisiones bajo estrés en variados niveles de intensidad e infinidad de posibles agentes estresores. El estrés se manifiesta aumentando el arousal fisiológico y genera emociones negativas. Además, se ha encontrado que el estrés produce un incremento en la actividad de la amígdala e impide el adecuado funcionamiento de la corteza prefrontal (Lighthall et al., 2012). Del mismo modo, se ha hallado que las neuronas dopaminérgicas del área tegmental ventral y el núcleo estriado se ven afectadas por el estrés. Entonces, es probable que al verse afectados los sistemas cerebrales relacionados con la toma de decisiones, el estrés afecte directamente esta actividad neurocognitiva (Starcke & Brand, 2012).

1.3 La intuición en la toma de decisiones

Se ha encontrado que la intuición es un elemento clave en la toma de decisiones, así, se alcanza a tomar una decisión antes de que ésta llegue a la consciencia de la persona o mejor dicho, antes de que la persona pueda explicar verbalmente la razón por la que tomó esa decisión. Bechara, Damasio, Tranel y Damasio (1997), condujeron un estudio en el que se comparaba la toma de decisiones entre sujetos sanos y pacientes con lesiones prefrontal, y que además presentaban fallos en la realización de la prueba de toma de decisiones Iowa Gambling Task. Esta prueba consiste en seleccionar una carta de cuatro mazos de cartas disponibles; cada una de las cartas trae una pérdida o una ganancia en términos de dinero. Sin embargo, los mazos A y B conllevan a grandes pérdidas, mientras que los mazos C y D traen mayores ganancias. El objetivo de la prueba es alcanzar la mayor cantidad de dinero posible en 100 intentos. Se descubrió que los pacientes que no tenían lesiones presentaban respuestas anticipatorias en la conductancia de la piel *SCR* (del acrónimo inglés, *Skin Conductance Response*) cuando ellos consideraban que una decisión era riesgosa. Esta respuesta se daba antes de que ellos explícitamente supieran y pudieran decir porqué estaban tomando esa decisión y, además, que esa era una decisión riesgosa; mientras que los sujetos con lesiones en la corteza prefrontal ventromedial no presentaban esta respuesta en la conductancia de la piel ante las decisiones riesgosas (Lempert & Phelps, 2015; Damasio, 2012).

También, en otra investigación se encontró que al medir la respuesta a la conductancia eléctrica de la piel *SCR* al momento de emitir juicios morales en pacientes con lesión en la corteza prefrontal ventromedial, los pacientes tomaban decisiones más utilitarias (decisiones del tipo: preferir empujar a alguien a la muerte para salvar cinco personas) que la población control, e inclusive no presentaban respuesta a la conductancia de la piel (Lempert & Phelps, 2015; Fehr & Krajbich, 2015; Phelps & Delgado 2009), llegando a la conclusión de que las respuestas ligadas a las emociones en ciertas acciones pueden influir en la toma de decisiones morales.

1.4 Riesgo, intuición y emoción

En relación a la valoración del riesgo sobre una decisión a tomar, Shiv, Loewenstein y Bechara (2005) llamaron “el lado oscuro de la emoción en la toma de decisiones”, al hecho de que pacientes con lesiones prefrontales relacionadas con las emociones tomaron mejores decisiones que las personas sanas, al aplicarles el Iowa Gambling Task. Los autores encontraron que los individuos sin las lesiones cerebrales preferían optar por estrategias más conservadoras y no por aquellas que implicaban mayores riesgos a la hora de tomar decisiones. Pese a los hallazgos con la prueba, es menester aclarar que los pacientes con lesiones prefrontales no van a tomar mejores decisiones en la vida real sino que tenderán a tomar decisiones más riesgosas.

Además, Dijksterhuis, Bos, Nordgren y van Baaren (2006) hallaron que en decisiones simples, como escoger una toalla para bañarse, puede ser útil detenerse y pensar conscientemente. Sin embargo, se ha observado que en decisiones más complejas, es mejor dejarse guiar por la intuición o ser menos reflexivo, por ejemplo, cuando se elige entre comprar una casa o un carro entre diferentes opciones posibles. Este efecto es conocido como el efecto de deliberación sin atención.

2. Teoría del Procesamiento Dual

Kahneman (2011) propuso el siguiente problema:

“Un bate y una bola cuestan en total 1,10. El bate cuesta 1\$ más que la bola. ¿Cuánto cuesta la bola?”.

Al solucionar este problema, la mayoría de las personas, inmediatamente tiende a pensar que la bola cuesta 0,10\$. Sin embargo, no es la respuesta correcta. La respuesta correcta es que la bola vale 0,05\$, siendo ésta la forma en que se cumple la condición de que el bate cuesta 1\$ más que la bola. Kahneman (2011) señala que la arquitectura de la cognición está constituida por dos sistemas: Sistema 1 y Sistema 2, o, Intuición y Razonamiento. El sistema 1, relacionado con la intuición, actúa de forma rápida, sin esfuerzo, de forma automática y frecuentemente tiene una carga emocional; el sistema 2, por otro lado, está relacionado con el pensamiento analítico o razonamiento, se hace de forma deliberada, es más lento, requiere esfuerzo y es emocionalmente neutral (Sanfey & Chang, 2008; Kahneman, 2011; Reyna & Brainerd, 2011). Por tanto, el sistema 1 es el que se usa generalmente y es el que lleva rápidamente a que la solución del problema es 0,10\$; el sistema 2 es el encargado de hacer las operaciones necesarias para alcanzar la solución real de 0,05\$, que conlleva mayor recurso cognitivo.

Esta teoría de procesamiento dual se remonta años atrás hasta los trabajos realizados por Schneider y Shiffrin (1977), quienes propusieron una teoría del procesamiento de la información basada en dos procesos, los procesos controlados –sistema 2– y los procesos automáticos –sistema 1– (Brocas & Carrillo, 2014). También, es importante considerar que la intuición no está ligada solamente a malos resultados, puesto que el pensamiento intuitivo también puede ser potente y preciso. De esta manera, es por medio de la práctica prolongada, es decir, por medio de la experiencia, que la intuición adquiere destrezas notables que se pueden producir de forma rápida y sin mayor esfuerzo (Kahneman, 2003).

3. Neuroanatomía de la Teoría del Procesamiento Dual

De acuerdo a Sanfey y Chang (2008), los procesos que requieren esfuerzo deliberado y razonamiento involucran de manera consistente regiones de la corteza prefrontal, especialmente las regiones dorsolaterales y anteriores, como también áreas de la corteza parietal posterior (Greene & Haidt, 2002).

Por otro lado, se ha encontrado que los procesos automáticos involucran estructuras corticales posteriores como también sistemas subcorticales; y los procesos emocionales activan estructuras como el sistema límbico, que incluye los mecanismos del sistema de recompensa, tales como el área tegmental ventral, áreas del mesencéfalo y áreas de la corteza a la cual proyectan, como el núcleo accumbens y las cortezas cingulada anterior, la corteza orbitofrontal y la corteza frontal ventromedial (Sanfey & Chang, 2008; Spunt, 2015; Ríos-Flórez & Cardona-Agudelo, 2016). Sin embargo, es preciso aclarar que las regiones específicas para los procesos automáticos son dependientes en un alto grado de las condiciones en las cuales estos se manifiestan (Spunt, 2015).

4. Neurociencia de la toma de decisiones.

De acuerdo a estudios de Resonancia Magnética funcional (RMf), se ha hallado que la corteza prefrontal dorsolateral izquierda y la corteza prefrontal ventral, están involucradas en la comparación de costos y beneficios, y computan la diferencia de esta comparación con las señales neurales de la anticipación de beneficios producidas por la amígdala y el estriado ventral. Así, el cerebro hace la comparación entre costo y beneficio cuando un individuo decide si quiere aceptar o no una opción (Basten, Biele, Heekeren & Fiebach, 2010).

Además, se ha encontrado que dos sistemas separados están relacionados con las decisiones. El sistema límbico y el sistema dopaminérgico-mesencefálico, que se activan cuando la decisión tiene una recompensa inmediata. Asimismo, estas estructuras también se activan en la impulsividad del descuento temporal, que es cuando se espera cierto lapso de tiempo, el cual hace que la persona cambie de decisión por una que tenga una recompensa más inmediata, sin importar que la recompensa sea considerablemente menor. En esta variante se involucran otras regiones como la corteza parietal posterior y la corteza prefrontal lateral, regiones que se suelen relacionar con procesos deliberados de alto nivel y poco control cognitivo (McClure, Laibson, Loewenstein & Cohen, 2004; Li, Delgado & Phelps, 2011; Lempert & Phelps, 2015).

La corteza prefrontal, más específicamente en su porción orbitofrontal y ventromedial, es reconocida como una región clave para la toma de decisiones. Se han presentado estudios con RMf en los que, durante el desarrollo de la prueba de toma de decisiones (el Iowa Gambling Task), se activa esta corteza en su porción derecha, así como la corteza prefrontal dorsolateral, la corteza prefrontal ventral, el cíngulo anterior, las cortezas insular y parietal, y el cerebelo (Martínez-Selva et al., 2006; Camille, Tsuchida & Fellows, 2011).

Lesiones en la corteza orbitofrontal conllevan a que las personas sean inconsistentes en sus decisiones, inclusive en las decisiones simples. Esto es consistente en la medida en que la corteza orbitofrontal está relacionada con la representación del valor relativo que le da el individuo a los estímulos (Fellows, 2007; Camille, Tsuchida & Fellows, 2011). También se ha encontrado que lesiones en esta corteza conllevan a dificultades relacionadas con las emociones, principalmente, en tareas como la identificación de las expresiones faciales y la prosodia en la voz (Hornak et al., 2003).

4.1 Corteza prefrontal ventromedial

Esta porción de la corteza se ubica en la porción ventral de la corteza prefrontal; incluye las áreas de Brodman 10, 11, 12, 24, 25 y 32 (Kandel, Schwartz & Jessell, 2001). Se sugiere que esta región está directamente relacionada con la integración de todos los factores que se involucran en tomar una decisión (Bechara et al., 1997; Bechara, Tranel & Damasio 2000; Summerfield & Koehlin, 2009). Además, los estados somáticos, la información sensorial y la experiencia son integradas en esta región, conectándose con estructuras como la amígdala, el hipotálamo y otros núcleos diencefálicos. De esta manera, la corteza prefrontal ventromedial se relaciona con la valoración de consecuencia a largo plazo producto de una decisión (Martínez-Selva et al., 2006).

De igual forma, Pacientes con lesiones en la corteza ventromedial presentan alteraciones en la conducta social, el procesamiento emocional y la toma de decisiones (Márquez, Salguero, Paño & Alameda, 2013; Fonfria et al., 2015). Este tipo de pacientes no son sensibles a las consecuencias a largo plazo que tendrán al tomar una decisión, se les dificulta la planeación de actividades en su vida diaria y carecen de la capacidad de utilizar las emociones como guías de la conducta. Pese a ello, estos pacientes presentan una capacidad intelectual y de memoria ubicadas en rangos de normalidad, mientras que en el *Iowa Gambling Task* (IGT) reportan bajo rendimiento y no presentan respuesta a la conductancia de la piel cuando toman las decisiones riesgosas (Martínez-Selva et al., 2006; Verdejo, Aguilar & Pérez-García, 2004).

4.2 Corteza prefrontal dorsolateral

Esta corteza está fuertemente relacionada con el procesamiento ejecutivo, concretamente, vinculada con las funciones ejecutivas (Goldberg, 2009). Esta región de la corteza es exclusiva de los seres humanos (Flores & Ostrosky-Solis, 2008), y se ve involucrada con procesos de planeación, memoria de trabajo, flexibilidad mental, estrategias de trabajo y monitoreo (permitiendo la auto-evaluación y el ajuste de la actividad con miras a los

resultados), entre otros (Smith & Kosslyn, 2008; Chua & Ahmed, 2016; Balta et al., 2017).

Lesiones en esta área producen alteraciones en la memoria de trabajo y en la retención de información. En el IGT presentan decisiones que suelen ser más desventajosas. Aparentemente, los problemas en la toma de decisiones de los pacientes con lesiones dorsolaterales están más vinculados a fallas en las funciones ejecutivas que llegan a afectar la toma de decisiones (Bechara, 2005).

4.3 Amígdala Cerebral

La amígdala es una estructura que se ha asociado fuertemente al miedo, o bien, a emociones similares (Méndez-Bértolo et al., 2016). Es en esta estructura donde se procesa información sensorial producto de los estímulos aversivos. De esta forma, la amígdala se vincula con conexiones o asociaciones entre experiencias previas que podrían repercutir en la toma de decisiones (Martínez-Selva et al., 2006). También, se sugiere que la amígdala es importante en el procesamiento de estímulos emocionales con carga afectiva negativa (Ernst et al., 2002), relacionándose con las etapas iniciales en la toma de decisiones.

Lesiones en la amígdala se atañen a dificultades para la manifestación del miedo. Además, pacientes con este tipo de lesiones no presentan respuesta a la conductancia eléctrica de la piel, que funciona como una forma de anticipar –marcador somático– decisiones riesgosas. Estas lesiones son similares a las de los pacientes con lesiones en la región prefrontal ventromedial, pese a que ambas zonas desempeñan funciones diferentes (Gupta, Kosciak, Bechara & Tranel 2011).

4.4 Corteza cingulada anterior

La corteza cingulada anterior se encuentra relacionada con las consecuencias a la hora de tomar una decisión. Esta región está implicada en el uso de la información proveniente del reforzamiento para controlar el comportamiento, además, se encuentra especialmente activa al esperarse consecuencias negativas. Por otro lado, se observa actividad en esta corteza en las decisiones bajo incertidumbre o riesgo (Kennerley, Walton, Behrens, Buckley & Rushworth, 2006). Al respecto, las lesiones en esta área provocan dificultades en la capacidad de evaluar consecuencias o riesgos presentes en las decisiones (Walton, Crosson, Behrens, Kennerley & Rushworth, 2010).

5. Neurofuncionalidad del proceso: Análisis y Conclusiones

En este punto, ha sido evidente el rol que ejercen las emociones sobre las decisiones a las que diariamente se enfrenta el ser humano. La historia evolutiva ha llevado a que cada vez sean más las circunstancias a las que nos vemos expuesto bajo la necesidad de tomar una decisión, ya sea en la selección de una opción entre varias presentadas, como forma simple de actuación, o bien, en la elaboración y estructuración de una respuesta como mecanismo de resolución a un problema novedoso o como consecuencia directa de una conducta previa. Lo anterior, es viable gracias al funcionamiento secuencial y los automatismos de la actividad cerebral que reaccionan de forma coordinada en instancias no conscientes para cada una de las decisiones que se requieren de manera inmediata (sistema práctico). Para ello, las redes cerebrales se benefician de la velocidad de procesamiento de la información, evaluando aceleradamente aquellas memorias almacenadas que pueden servir como predictor de las consecuencias directas o indirectas de las decisiones a tomar, esto, a partir de los aprendizajes previos, donde se habrá de valorar la resultante anterior en un momento de decisión similar.

Por otra parte, cuando no existen parámetros similares dentro de las redes de almacenamiento de la información que se comparen con la situación que exige una decisión a tomar, el proceso se lentifica. De esta forma, mayores recursos cognitivos son empleados a fin de realizar un análisis de las circunstancias, donde se sopesarán en mayor nivel las características del contexto o el objeto sobre el que se requiere emitir un juicio como elección particular (sistema analítico). En esta instancia, las decisiones a tomar se verán influenciadas por factores motivacionales y gustos propios con mayor detalle sobre lo que se quiere. Así, es en este tipo de decisiones donde las emociones tendrán mayor influencia, siendo un proceso racional que permite mayor reflexión, y posibilitando dos resultantes, una decisión concienzuda, planeada y certera, o bien, una decisión ampliamente movilizadora por las emociones ante lo que se quiere en el momento, y menos por la lógica, la razón y la valoración de las consecuencias a largo plazo. Al respecto, en este

último tipo de decisiones, donde la probabilidad de incurrir en errores o consecuencias negativas, a mediano o corto plazo, es mayor.

Tal como lo plantearon Ríos-Flórez y Cardona-Agudelo (2016), la toma de decisiones comprende una gran participación de la región ventromedial del córtex prefrontal, actividad que se encuentra influenciada por otros procesos relacionados a esta zona cerebral, como las respuestas de alerta ante estímulos negativos, a fin de favorecer los tiempos de reacción, con énfasis en la valencia subjetiva de la decisión a realizar, involucrando el funcionamiento ejecutivo, la valoración del riesgo y el aprendizaje afectivo, por lo que, como refieren los autores, se hace necesario un especial entramado de conexiones entre la corteza y estructuras subcorticales del sistema límbico, destacándose la amígdala como protagonista en los procesos emocionales del SNC. Por lo que, como lo abordaron Carretié, López-Martín y Albert (2010), la corteza prefrontal en su porción ventromedial estaría relacionada con la mediación entre cognición y emoción. Llevando así, a un equilibrio necesario en la regulación y control del comportamiento, particularmente, frente a la toma de decisiones y valoración de riesgo-consecuencia.

Por lo anterior, este tipo de actividad cortical rompe el paradigma de la exclusividad subcortical en el desarrollo y funcionalidad de los procesos emocionales y sus implicaciones en la cognición humana (Ríos-Flórez & Cardona-Agudelo, 2016). En esta instancia, se destaca también el rol de los hipocampos como codificadores y distribuidores de las memorias en las redes neuronales de las diversas zonas cerebrales, igualmente, se involucran regiones somato sensoriales, motoras y la región dorsolateral de los lóbulos prefrontales en su activación de la memoria de trabajo, por lo que la tarea a desarrollar en la toma de decisiones es de actividad global a la funcionalidad del encéfalo.

En síntesis, es claro que el rol de las emociones en la toma de decisiones se ha convertido en algo trascendental para su estudio y comprensión. Tanto es así, que las emociones intervienen al punto de poder cambiar y/o modificar una decisión. Especialmente en las decisiones bajo condiciones de incertidumbre o riesgo, donde se ha argumentado sobre la importancia de las emociones, y su estudio se ha dado principalmente con la prueba Iowa Gambling Task. Asimismo, el curso que toman las investigaciones recientes ha permitido identificar estructuras claves que intervienen en el proceso de toma de decisiones y, específicamente, con la intervención de las emociones en el proceso; estas mismas investigaciones permiten conocer la enorme importancia de las emociones como guías de las decisiones. Es de resaltar que diferentes investigaciones proponen dos principales sistemas que se involucran en el proceso de la toma de decisiones, un sistema que corresponde a la intuición (sistema práctico), donde se relaciona principalmente la actividad de la amígdala cerebral y sus correlatos neuronales, y un sistema que atañe al razonamiento (sistema analítico), que corresponde a la corteza prefrontal, particularmente, en su porción ventromedial y sus conexiones.

En este sentido, se destaca la relevancia del procesamiento atencional (activado por estímulos significativos involucrados con la decisión), las experiencias-consecuencias evaluadas y contenidas en las memorias, puesto que son estas representaciones mnémicas el punto de comparación con acciones llevadas a cabo en el pasado y su efectividad o error, encaminadas a la toma de una nueva decisión y de contexto similar (principalmente memorias de tipo declarativo). Asimismo, la toma de decisiones involucra los sistemas de recompensa activados como consecuencia directa de la elección realizada, por lo que la huella mnémica de tal recompensa ejercerá influencia sobre una próxima decisión, a fin de obtener un resultado satisfactorio o por el contrario conllevar a la modificación de la estrategia con el propósito de evitar consecuencias no deseadas. Lo anterior, se encuentra relacionado en mayor medida a decisiones de tipo racional y con consciencia del proceso de análisis y los contenidos asociados a las probabilidades y opciones de elección. Sin embargo, también existen procesos biológicos asociados a los mecanismos no conscientes y automáticos de los procesos cognitivos (vinculados a contenidos de memoria no declarativa), que en su mayoría están mediados por la intuición y las emociones, y son estas últimas las que ejercerán como reguladoras de decisiones que requieren un procesamiento inmediato y en alguna medida impulsivo, por lo que el acceso al razonamiento y detalle minucioso de las posibles consecuencias se encontrará limitado. Así, la integración de las influencias sobre la toma de decisiones -por análisis de factores extrínsecos asociados al contexto de la elección, e intrínsecos vinculados a motivaciones y experiencias previas- son resultantes directas de las interacciones morfo-funcionales de la actividad cerebral.

Referencias

- Balta, S., Beck, A., Deserno, L., Lorenz, R., Rapp, M., Schlagenhaut, F., Heinz, A. & Obermayer, K. (2017). Dorsolateral prefrontal cortex contributes to the impaired behavioral adaptation in alcohol dependence. *NeuroImage: Clinical*; 15:80-94. Doi: 10.1016/j.nicl.2017.04.010
- Basten, U., Biele, G., Heekeren, H. & Fiebach, C. (2010). How the brain integrates cost and benefits during decision making. *PNAS*; 107:50: 21767-21772. Doi: 10.1073/pnas.0908104107.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Damasio, A. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*. 275: 5304: 1293-1295. Doi: 10.1126/science.275.5304.1293
- Bechara, A., Tranel, D. & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*; 123: 2189-2202. Doi: 10.1093/brain/123.11.2189
- Bechara, A., Damasio H., Tranel, D. & Damasio, A. (2005). The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers. *Trends CognSci*; 9: 159-162. Doi: 10.1016/j.tics.2005.02.002
- Bechara, A. (2005). Decision making, impulse control and loss of willpower to resist drugs: a neurocognitive perspective. *Nature Neuroscience*; 8: 1458-1463. Doi: 10.1038/nn1584
- Brocas, I. & Carrillo, J. (2014). Dual-Process Theories of Decision Making: a Selective Survey. *Journal of Economic Psychology*; 41:45-54. Doi: 10.1016/j.joep.2013.01.004
- Burke, C. & Tobler, P. (2011). Coding of Reward Probability and Risk by Single Neurons in Animals. *Frontiers in Neuroscience*; 5: 121: 1-9. DOI:10.3389/fnins.2011.00121
- Camille, N., Tsuchida, A. & Fellows, L. (2011). Double Dissociation of Stimulus-Value and Action-Value Learning in Human with Orbitofrontal or Anterior Cingulate Cortex Damage. *The Journal of Neuroscience*. 31(42) 15048-15052. Doi: 10.1523/JNEUROSCI.3164-11.2011
- Carmere, C., Loewenstein, G. & Prelec, D. (2004). Neuroeconomics: Why economics needs brains. *The Scandinavian Journal of Economics*; 106: 3: 555-579. Doi: 10.1111/j.1467-9442.2004.00378.x
- Carretié, L., López-Martín, S. & Albert, J. (2010). The role of the ventromedial prefrontal cortex in the response to negative emotional events. *Revista de Neurología*. 50(4); 245-252. <https://www.neurologia.com/articulo/2009292/eng>
- Chua, E. & Ahmed, R. (2016). Electrical stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex improves memory monitoring. *Neuropsychologia*; 85: 74-79. Doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.03.008
- Contreras, D., Catena, A., Candido, A., Perales, J. & Maldonado, A. (2008). Funciones de la corteza prefrontal ventromedial en la toma de decisiones emocionales. *International Journal of Clinical and Health Psychology*. 8:1: 285-313. http://www.aepc.es/ijchp/articulos_pdf/ijchp-278.pdf
- Damasio, A. (1998). *El Error de Descartes*. Crítica. Barcelona: España.
- Damasio, A. (2012). *Tu Cerebro lo es Todo*. Plataforma Actual; Barcelona: España.
- Dijksterhuis, A., Bos, M., Nordgren, L. & van Baaren, R. (2006). On Making the Right Choices: The Deliberation-Without-Attention Effect. *Science*; 311:1005-1007. Doi: 10.1126/science.1121629
- Ernst, M., Bolla, K., Mouratidis, M., Contoreggi, C., Matochik, J., Kurian, V., et al. (2002). Decision-making in a risk-taking task: a PET study. *Neuropsychopharmacology*; 26: 682-691. Doi:10.1016/S0893-133X(01)00414-6
- Fehr, E. & Krajbich, I. (2015). Social Preferences and the Brain. En Glimcher, P. *Neuroeconomics, second edition, decision making and the brain*; Academic Press. Oxford, UK.
- Fellows, L. (2007). The Role of Orbitofrontal Cortex in Decision Making, A component process account. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1121: 421-430. Doi:10.1196/annals.1401.023
- Flores, L. & Ostrosky-Solis, F. (2008). Neuropsicología de los lobulos frontales. Funciones Ejecutivas y conducta Humana. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*; 8: 1: 47-58. http://neurociencias.udea.edu.co/revista/PDF/REVNEURO_vol8_num1_7.pdf
- Fonfría, A., Segarra P., Poy, R., Esteller, A. López, R., Ribes, P., et al. (2015). Ansiedad y toma de decisiones en la Iowa Gambling Task. *Agora de Salud*; 1: 35-46. Doi: 10.6035/AgoraSalud.2015.1.2
- Glimcher, P. (2009). Neuroeconomics and the Study of Valuation. In Gazzaniga, M. *The Cognitive Neurosciences*, Fourth Edition. The MIT Press; London: England.
- Glimcher, P. & Fehr, E. (2015). Introduction: A Brief History of Neuroeconomics in Glimcher, P. *Neuroeconomics, second edition, decision making and the brain*; Academic Press. Oxford, UK.
- Greene, J. & Haidt, J. (2002). How (and where) does moral judgment work? *TRENDS in Cognitive Sciences*; 6:12: 517-523. Doi: 10.1016/S1364-6613(02)02011-9
- Gold, J. & Heekeren, H. (2015). Neural Mechanism for Perceptual Decision Making. in Glimcher, P. *Neuroeconomics, second edition, decision making and the brain*; Academic Press. Oxford, UK.
- Goldberg, E. (2009). *The New Executive Brain. Frontal Lobes in a Complex World*. Oxford University Press. New York: United States.
- Gupta R., Kosciak, T., Bechara, A. & Tranel, D. (2011). The amígdala and decision making. *Neuropsychologia*; 49: 4:760-766. Doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.029
- Hammerstein, P. & Stevens, J. (2012). *Six Reasons for invoking Evolution in Decision Theory*. In Evolution and the Mechanism of Decision Making; MIT Press; USA. <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1625&context=psychfacpub>
- Heekeren, H., Marret, S. & Ungerleider, L. (2008). The neural systems that mediate human perceptual decision making. *Nature Reviews Neuroscience*. 9: 467-479. Doi: 10.1038/nrn2374
- Hornak, J., Bramham, J., Rolls, E., Morris, R., Doherty, J., Bullock, P., et al. (2003). Changes in emotion after circumscribed surgical lesions of the orbitofrontal and cingulate cortices. *Brain*; 126: 1691-1712. Doi: 10.1093/brain/awg168
- Johnson, E. & Ratcliff, R. (2014). Computational and Process Models of Decision Making in Psychology and Behavioral Economics in Glimcher, P. *Neuroeconomics. Second Edition*. Academic Press. Oxford 35-48.
- Kahneman, D. (2003). Maps of Bounded Rationality: Psychology for Behavioral Economics. *The American Economic Review*; 95:5: 1449-1475. <http://www.econ.tuwien.ac.at/lotto/papers/Kahneman2.pdf>
- Kahneman, D. (2011). *Thinking Fast and Slow*. Farrar, Straus and Giroux. New York: United States.
- Kandel, E., Schwartz, J. & Jessell, T. (2001). *Principios de neurociencia*. Cuarta edición. McGraw-Hill Interamericana de España. Madrid: España.
- Kennerley, S., Walton, M., Behrens, T., Buckley, M. & Rushworth, M. (2006). Optimal Decision Making and the Anterior Cingulate Cortex. *Nature Neuroscience*; 9: 7: 940-947. Doi: 10.1038/nn1724
- Kenneth, L., Yates, J., Meister, M., Huk, A. & Pillow, J. (2015). Single-trial Spike Trains in Parietal Cortex Reveal Discrete Steps During Decision-Making. *Science*; 349: 6244: 184-187. Doi: 10.1126/science.aaa4056
- Krajbich, I., Armel, C. & Rangel, A. (2010). Visual fixations and the computation and comparison of value in simple choice. *Nature Neuroscience*; 13: 1292-1298. Doi: 10.1038/nn.2635
- Lehrer, J. (2009). *How we decide*. First Mariner Books edition. New York
- Li, J., Delgado, M. & Phelps, E. (2011). How instructed knowledge modulates the neural systems of reward learning. *PNAS*; 2018: 1:55-60. Doi: 10.1073/pnas.1014938108
- Lempert, K. & Phelps, E. (2015). Neuroeconomics of emotion and decision making. In Glimcher, P. *Neuroeconomics, second edition, decision making and the brain*; Academic Press. Oxford, UK.
- Lighthall, N., Sakaki, M., Vasunilashorn, S., Nga, L., Somayajula, S. Chen, E., et al. (2012). Gender differences in reward-related decision processing under stress. *SCAN. Oxford University Press*; 7:476-484. Doi: 10.1093/scan/nsr026
- Loewenstein, G., Hsee, C., Weber, E. & Welch, N. (2001). Risk as Feelings. *Psychological Bulletin*; 127: 2: 267-286. Doi: 10.1037/0033-2909.127.2.267
- Márquez, M., Salguero, P., Paíno, S. & Alameda, J. (2013). La hipótesis del Marcador Somático y su nivel de incidencia en el proceso de toma de decisiones. *Revista Electronica de Metodología Aplicada*; 18:1:17-36. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4107784.pdf>
- Martínez-Selva, J., Sánchez-Navarro, J., Bechara, A. & Román, F. (2006). Mecanismos cerebrales de la toma de decisiones. *Revista de Neurología*. 42: 411-8. <https://www.neurologia.com/articulo/2006161>
- McClure, S., Laibson, D., Loewenstein, G. & Cohen, J. (2004). Separate Neural Systems Value Immediate and Delayed Monetary Rewards. *Science*; 306: 503-507. Doi: 10.1126/science.1100907
- Méndez-Bertolo, C., Moratti, S., Toledano, R. Lopez-Sosa, F., Martínez-Alvarez, R. & Mah, Y., et al. (2016). A Fast Pathway for Fear in Human Amygdala. *Nature Neuroscience*; 19: 1041-1049. Doi:10.1038/nn.4324
- Moors, A. (2013). Appraisal Theories of Emotion: State of the Art and Future Development. *Emotion Review*; 5: 2: 119-124. Doi: 10.1177/1754073912468165
- Pardo-Vásquez, J. & Acuña, C. (2014). Bases Neurales de las Decisiones Perceptivas: Papel de la Corteza Premotora Ventral. *Revista de Neurología*; 58(9); 401-410. <https://www.neurologia.com/articulo/2013486>

- Pheps, E. & Delgado, M. (2009). Emotion and Decision Making. In Gazzaniga, M. *The Cognitive Neurosciences*, Fourth Edition. The MIT Press; London: England.
- Ramos, C. (2015). The Gambler: Afectación neuropsicológica en la toma de decisiones. Cuadernos de Neuropsicología. *Panamerican Journal of Neuropsychology*. 9:13: 1-7. Doi: 10.7714/cnps/9.3.701
- Rangel, A. (2009). The Neuroeconomics of Simple Goal-Directed Choice. In Gazzaniga, M. *The Cognitive Neurosciences*, Fourth Edition. The MIT Press; London: England.
- Reyna, V. & Brainerd, C. (2011). Dual Processes in Decision Making and Developmental Neuroscience: A fuzzy-Trace Model. *Dev Rev*; 31:2-3:180-206. Doi: 10.1016/j.dr.2011.07.004
- Ríos-Flórez, J. & Cardona-Agudelo, V. (2016). Ruptura del paradigma subcortical en los procesos emocionales. *Revista Poiésis*. 31(1); 132-140. Doi: 10.21501/16920945.2100
- Rosselló, J. & Revert, X. (2008). Modelos Teóricos en el Estudio Científico de la Emoción. In *Motivación y Emoción*; McGraw-Hill: 95-138.
- Sanfey, A. & Chang, L. (2008). Multiple Systems in Decision Making. *Ann N.Y. Acad. Sci*; 1128:53-62. Doi: 10.1196/annals.1399.007
- Schneider, W. & Shiffrin, R. (1977). Controlled and Automatic Human Information Processing: Detection, Search and Attention. *Psychological Review*; 84: 1-66. http://psych.indiana.edu/tradition/Shiffrin_and_Schneider_1977.pdf
- Shiv, B., Loewenstein G. & Bechara, A. (2005). The dark side of emotion in decision-making: When individuals with decreased emotional reaction make more advantageous decisions. *Cognitive Brain Research*. 23; 85-92. Doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.01.006
- Smith, E. & Kosslyn, S. (2008). *Procesos Cognitivos. Modelos y Bases Neurales*. Pearson Prentice Hall; Madrid: España.
- Spunt, R. (2015). Dual-Process Theories in Social Cognitive Neuroscience. Brain Mapping: An Encyclopedic Reference, *Academic Press, Elsevier*; 3: 211-215. http://www.bobspunt.com/papers/pdf/Spunt_2015_DualProcessTheories.pdf
- Starcke, K. & Brand, M. (2012). Decision Making Under Stress. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 36(4):1228-1248. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.02.003>
- Summerfield, C. & Koechlin, E. (2009). Decision Making and Prefrontal Executive Function. In Gazzaniga, M. *The Cognitive Neurosciences*, Fourth Edition. The MIT Press; London: England.
- Verdejo, A., Aguilar, F. & Pérez-García, M. (2004). Alteraciones de los procesos de toma de decisiones vinculados al cortex prefrontal ventromedial en pacientes drogodependientes. *Revista de neurología*; 38: 7: 601-606. <https://www.neurologia.com/articulo/2003639>
- Walton, M., Crosson, P., Behrens, T., Kennerley, S. & Rushworth, M. (2010). Adaptive Decision Making and Value in the Anterior Cingulate Cortex. *Neuroimage*; 36: 2: T142-T154. Doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.03.029
- Wu, C., Sacchet, M. & Knutson, B. (2012). Toward an Affective Neuroscience Account of Financial Risk Taking. *Frontiers in Neuroscience*; 6: 159: 1-10. Doi: 10.3389/fnins.2012.00159
- Wunderlich, K., Rangel, A. & O'doherty, J. (2010). Economic choices can be made using only stimulus values. *PNAS*; 107:34_15005-15010. Doi: 10.1073/pnas.1002258107