

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

NEUROCIENCIA DE LA TOMA DE DECISIONES: MECANISMOS CEREBRALES, MODULACIÓN NEUROTRANSMISORA Y DESAFÍOS DE LA NEUROTECNOLOGÍA EN LA ERA DIGITAL

**NEUROSCIENCE OF DECISION-MAKING: BRAIN
MECHANISMS, NEUROTRANSMITTER MODULATION,
AND CHALLENGES OF NEUROTECHNOLOGY IN THE
DIGITAL AGE**

Juan Parra Abarca

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Petra Baldivia Noyola

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Hugo Baltazar Pérez Palacios

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Hugo Arellanes Robledo

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Leopoldo Rodríguez Matías

Universidad Autónoma de Guerrero, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.22019

Neurociencia de la Toma de Decisiones: Mecanismos Cerebrales, Modulación Neurotransmisora y Desafíos de la Neurotecnología en la Era Digital

Juan Parra Abarca¹

juanparra@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4955-0244>

Universidad Autónoma de Guerrero
México

Hugo Baltazar Pérez Palacios

hugobaltazar@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5004-9943>

Universidad Autónoma de Guerrero
México

Leopoldo Rodríguez Matías

18398@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0002-5176-5025>

Universidad Autónoma de Guerrero
México

Petra Baldivia Noyola

Pbn29@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0001-7678-8867>

Universidad Autónoma de Guerrero
México

Hugo Arellanes Robledo

hugoarellanesrobledo@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9834-4455>

Universidad Autónoma de Guerrero
México

RESUMEN

Esta revisión narrativa explora el papel crucial de las neurociencias en la comprensión de la toma de decisiones y el comportamiento humano. Se examina la interacción dinámica entre las regiones cerebrales clave, destacando a la corteza prefrontal (CPF) como el centro del control ejecutivo, la evaluación de opciones y la regulación emocional. Se analiza su vulnerabilidad en la adolescencia y se detalla cómo otras estructuras colaboran en el proceso: la amígdala, que influye en las decisiones emocionales y el riesgo; el hipocampo, que integra la información espacial y contextual; y el núcleo accumbens, esencial para la motivación y la recompensa. Además, se discute cómo neurotransmisores clave (dopamina, serotonina y otros) modulan estos procesos al influir en la motivación, el estado de ánimo y la impulsividad. La revisión también aborda las aplicaciones prácticas en campos como la educación y la salud, y discute los desafíos éticos de las neurotecnologías y los retos impuestos por la era digital en la atención y memoria de trabajo. Finalmente, se concluye enfatizando la necesidad de enfoques multimodales y el uso de la inteligencia artificial para una comprensión más completa de los mecanismos cerebrales subyacentes a la toma de decisiones.

Palabras clave: neurociencia, corteza prefrontal, toma de decisiones, neurotecnologías, era digital

¹ Autor principal

Correspondencia: juanparra@uagro.mx

Neuroscience of Decision-Making: Brain Mechanisms, Neurotransmitter Modulation, and Challenges of Neurotechnology in the Digital Age

ABSTRACT

This narrative review explores the crucial role of neuroscience in understanding human decision-making and behaviour. The study examines the dynamic interaction between key brain regions, highlighting the prefrontal cortex (PFC) as the central region in terms of executive control, option evaluation, and emotional regulation. The analysis of vulnerability in adolescence is accompanied by a detailed discussion of the collaborative processes involving other structures, including the amygdala, which influences emotional decisions and risk; the hippocampus, which integrates spatial and contextual information; and the nucleus accumbens, which is essential for motivation and reward. Furthermore, the study delves into the modulatory role of key neurotransmitters (e.g., dopamine and serotonin) in these processes, highlighting their influence on motivation, mood, and impulsivity. The review also addresses practical application in fields such as education and health, and discusses the ethical challenges of neurotechnologies imposed by the digital age on attention and working memory. Finally, it concludes by emphasising the need for multimodal approaches and the use of artificial intelligence for a more comprehensive understanding of the brain mechanisms underlying decision-making.

Keywords: neuroscience, prefrontal cortex, decisión-making, neurotechnologies, dogital age

*Artículo recibido 30 noviembre 2025
Aceptado para publicación: 30 diciembre 2025*



INTRODUCCIÓN

La presente es una revisión narrativa que aborda el proceso de toma de decisiones desde las perspectivas de las neurociencias. Todos los días, desde que nos levantamos hasta que nos acostamos, tomamos decisiones. Algunas son triviales, como qué ropa ponernos, mientras que otras pueden cambiar el rumbo de nuestra vida, como elegir una carrera o una pareja. Comprender mejor cómo nuestro cerebro orquesta esta sinfonía de decisiones, es crucial adentrarnos al fascinante mundo de las neurociencias, un campo multidisciplinario que se encarga de estudiar el sistema nervioso y su impacto en el comportamiento y las funciones cognitivas. La neurociencia abarca desde el nivel molecular y celular hasta el nivel de sistemas y comportamientos complejos, incluyendo la interacción integral entre el cerebro y el resto del cuerpo. Los significativos avances en este campo han profundizado nuestra comprensión sobre cómo el cerebro influye en la conducta y la toma de decisiones. Este progreso ha sido impulsado por innovaciones tecnológicas que permiten una visión detallada de la estructura y función cerebral.

Las técnicas de neuroimagen como la resonancia magnética funcional (fMRI), la espectroscopía de infrarrojo cercano funcional (fNIR) y la tomografía por emisión de positrones (PET) han revolucionado nuestra capacidad para observar la actividad cerebral en tiempo real (Wright, 2018; Rahman et al., 2019). Adicionalmente, herramientas como la electroencefalografía (EEG) y la magnetencefalografía han proporcionado información detallada sobre los patrones de actividad neuronal asociados con este proceso (Shen et al., 2022). Todas estas herramientas tecnológicas han permitido a los neurocientíficos explorar las bases neurobiológicas de procesos complejos como la memoria, el aprendizaje y las emociones, pilares para entender cómo elegimos (Seghier et al., 2019; Hartling et al., 2021).

Desde la perspectiva de la psicología cognitiva, la toma de decisiones es un proceso cognitivo complejo que implica la evaluación de información, la consideración de alternativas y la selección de una opción. Este proceso, es esencial en la vida diaria y abarca desde decisiones simples hasta decisiones complejas que pueden cambiar nuestro futuro (Prezenski et al., 2017). A nivel evolutivo, el proceso de toma de decisiones es fundamental para la supervivencia y adaptación. Este comportamiento se desarrolló en el cerebro para optimizar la habilidad de lograr objetivos esenciales: obtener recompensas y evitar daños, al tiempo que se minimizan los costos asociados (tiempo, esfuerzo y oportunidades perdidas).



La centralidad de estos imperativos de supervivencia explica la evolución de diversos mecanismos para lograrlos, destacando la importancia de los sistemas neuronales relacionados con recompensas y castigos (Fellows, 2016). Este proceso depende de una extensa red de regiones cerebrales, neurotransmisores y circuitos que trabajan conjuntamente para evaluar las consecuencias de nuestras acciones y asegurar la adaptación continua.

La investigación en neurociencia de la toma de decisiones ofrece un futuro prometedor. Al profundizar en la comprensión de cómo el cerebro evalúa riesgos, recompensas y emociones, podremos desarrollar intervenciones para mejorar la toma de decisiones en diversos ámbitos, desde la salud hasta la economía. Además, este conocimiento tiene una importancia fundamental en la educación, ya que comprender los mecanismos neurales que subyacen al proceso de decisión permite diseñar estrategias pedagógicas que fomenten el pensamiento crítico, la planificación a largo plazo y la gestión emocional. Esto prepara mejor a las futuras generaciones para enfrentar decisiones complejas. Finalmente, el conocimiento neurocientífico contribuirá a la creación de tecnologías más inteligentes y adaptadas a las necesidades humanas, acercándose a una comprensión más completa de nosotros mismos y de cómo interactuamos con el mundo.

MARCO TEÓRICO

La corteza prefrontal: director de orquesta y vulnerabilidad

Investigaciones en neurociencias han demostrado que la corteza prefrontal (CPF) es una región cerebral crucial, actuando como un verdadero director de orquesta en la ejecución de funciones ejecutivas. Estas funciones incluyen la planificación, el razonamiento, la inhibición de impulsos y el control cognitivo (Bechara et al., 2000; Yuan & Raz, 2014; Friedman & Robbins, 2022). Esta estructura, situada en la parte frontal del cerebro, es esencial para evaluar las consecuencias a largo plazo de nuestras decisiones, planificar estrategias y resistir la tentación de impulsos inmediatos. Además, la CPF desempeña un papel fundamental en la flexibilidad cognitiva, es decir, la capacidad de adaptar nuestro pensamiento y comportamiento a nuevas situaciones o demandas del entorno (Morgan et al., 2023). Esta flexibilidad es esencial para la toma de decisiones efectiva, pues nos permite considerar diferentes perspectivas, evaluar opciones y cambiar estrategias cuando es necesario.



La CPF, crucial para la toma de decisiones racionales y la regulación de impulsos, es una de las últimas regiones del cerebro en alcanzar su pleno desarrollo, un proceso que se extiende hasta bien entrada la tercera década de vida. Esta maduración prolongada explica en parte por qué los adolescentes son más propensos a la impulsividad y a tomar decisiones arriesgadas (Romer, 2010).

Durante la adolescencia, se produce un desequilibrio significativo: el sistema límbico (responsable de las emociones y la búsqueda de recompensas) experimenta un desarrollo acelerado, mientras que la CPF aún está en proceso de maduración. Este desfase entre sistemas cerebrales puede resultar en una mayor sensibilidad a las recompensas inmediatas y una menor capacidad para evaluar las consecuencias a largo plazo, lo que consecuentemente aumenta la probabilidad de conductas impulsivas y de riesgo (Galvan et al., 2006).

Por otra parte, la adolescencia es un período de gran plasticidad cerebral, lo que significa que las experiencias vividas durante esta etapa pueden influir significativamente en el desarrollo de la CPF. Factores como el estrés, el trauma o la exposición a sustancias adictivas pueden tener efectos negativos en la maduración de esta región. Estudios han demostrado que el consumo de sustancias interfiere con el desarrollo normal de la CPF, afectando particularmente las áreas responsables de la toma de decisiones, el control de impulsos y la evaluación de riesgos (Paus et al., 2008). La exposición crónica a drogas altera la estructura y función de esta región (Koob & Volkow, 2016), disminuyendo su capacidad para controlar impulsos y evaluar riesgos. Esta alteración de la integridad funcional de la CPF puede estar directamente relacionada con la percepción de la recompensa y el abuso de sustancias (Churchwell et al., 2010), lo que contribuye a una mayor propensión a tomar decisiones impulsivas y a involucrarse en conductas de riesgo, incluso años después de que el consumo haya cesado (de Wit, 2009).

Dado el crítico período de plasticidad y la vulnerabilidad en la maduración de la CPF durante la adolescencia, la prevención y la intervención temprana son fundamentales para proteger el desarrollo cerebral de los jóvenes y fomentar una toma de decisiones responsable.

La educación juega un papel crucial: los programas en escuelas y comunidades deben informar sobre los efectos nocivos de las sustancias, el estrés y el trauma en el cerebro adolescente.



Además, es esencial promover habilidades socioemocionales como la regulación emocional y la resolución de problemas, y crear conciencia sobre la importancia de un entorno seguro y los recursos disponibles para los jóvenes en riesgo. La detección temprana de problemas de salud mental, consumo de sustancias y situaciones de estrés es clave, junto con el acceso a terapia y apoyo psicológico para desarrollar estrategias de afrontamiento saludables. Los programas de mentoría pueden ofrecer modelos positivos y apoyo emocional. A nivel de políticas públicas, es necesario restringir el acceso a sustancias adictivas, reformar el sistema de justicia juvenil hacia un enfoque de rehabilitación y, sobre todo, invertir en programas de prevención e intervención temprana que aborden los factores de riesgo y promuevan el desarrollo saludable de los adolescentes.

La evidencia de las lesiones cerebrales subraya el papel crucial de la CPF en la toma de decisiones. Las lesiones en esta región, ya sean causadas por traumatismos, accidentes cerebrovasculares (ACV), tumores o enfermedades neurodegenerativas, tienen un impacto significativo en este complejo proceso cognitivo. La naturaleza y extensión del daño influyen directamente en el tipo y gravedad de los déficits en la toma de decisiones, que frecuentemente incluyen impulsividad, incapacidad para considerar las consecuencias y dificultades para evaluar riesgos y recompensas (Funahashi, 2017) (Tabla 1).

Tabla 1. Etiología de la disfunción de la corteza prefrontal

Factor etiológico	Mecanismo de lesión	Déficits clave en la toma de decisiones	Referencia
Traumatismo craneoencefálico (TCE)	Daño directo a la región frontal (CPF)	Aumento de la impulsividad y dificultades generales en la toma de decisiones	(Jorge, 2005)
Accidentes cerebrovasculares (ACV)	Interrupción del flujo sanguíneo a la CPF	Desinhibición, impulsividad y dificultad para evaluar las consecuencias a largo plazo	(Bechara et al., 2000)
Tumores cerebrales	Compresión o infiltración del tejido de la CPF	Cambios en la personalidad, falta de juicio e impulsividad	(Madhusoodanan et al., 2015)
Enfermedades neurodegenerativas (Ej. Demencia frontotemporal)	Degeneración progresiva de la CPF y regiones frontales	Impulsividad, desinhibición, falta de empatía y socavamiento de la toma de decisiones	(Rascovsky et al., 2011)



Subregiones de la corteza prefrontal y su papel en la toma de decisiones

La CPF se divide en varias subregiones clave que desempeñan funciones esenciales en la toma de decisiones. La corteza prefrontal ventromedial (CPFVM) integra información emocional y de recompensa, mientras que la corteza orbitofrontal (COF) evalúa consecuencias y procesa recompensas. La corteza prefrontal dorsolateral (CPFDL) es crucial para el control cognitivo y la planificación, y la corteza cingulada anterior (CCA) detecta conflictos y evalúa el esfuerzo necesario. Por último, la corteza prefrontal ventrolateral (CPFVL) regula el comportamiento impulsivo y procesa la información emocional (Hiser & Koenigs, 2018; Alexander et al., 2023) (Figura 1). Estas subregiones trabajan interconectadas para facilitar la toma de decisiones adaptativas (Tabla 2).

Figura 1. Subregiones de la corteza prefrontal. CPFDL: corteza prefrontal dorsolateral; CCA: corteza cingulada anterior; CPFVL: corteza prefrontal ventrolateral; CPFVM: corteza prefrontal ventromedial; COF: corteza orbitofrontal.

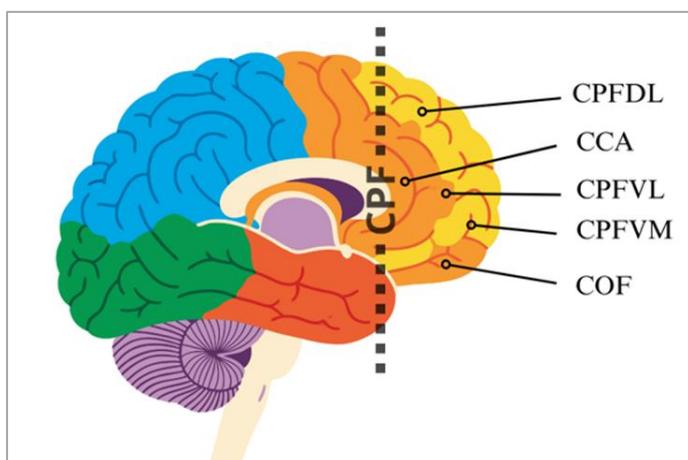


Tabla 2. Funciones específicas de las subregiones de la corteza prefrontal en la toma de decisiones.

Subregión de la CPF	Función principal en la toma de decisiones	Mecanismos clave	Referencias
Corteza Prefrontal Ventromedial (CPFVM)	Integración emocional y valoración de riesgo. Modula la aversión a pérdidas y procesa probabilidades de ganancia/pérdida	Integra señales de la amígdala e hipocampo	(Kroker et al., 2022; Bartra et al., 2013)
Corteza Prefrontal Dorsolateral (CPFDL)	Control cognitivo, planificación y memoria de trabajo. Evalúa consecuencias a largo plazo y maximiza beneficios futuros	Manipulación de información y flexibilidad mental	(Ridderinkhof et al., 2004; Miller & Cohen, 2001)

Corteza Orbitofrontal (COF) y Corteza Cingulada Anterior (CCA)	Atribución de Valor y Detección de Conflicto. Representación de atributos de la opción (esfuerzo, riesgo y retraso) y evaluación continua de resultados	Trabajan en conjunto para integrar conflictos/recompensa	(Vassena et al., 2020; Stoll & Rudebeck, 2024)
Corteza Prefrontal Ventrolateral (CPFVL)	Control inhibitorio y regulación de impulsos. Inhibición de respuestas inapropiadas y selección de acciones adecuadas	Adaptación en contextos cambiantes, recibe aferencias del estriado	(Nelson & Guyer, 2011)

En general, la CPF con sus diversas subregiones, emerge como una pieza clave en la compleja maquinaria de la toma de decisiones. Desde la evaluación de recompensas y riesgos hasta la regulación de impulsos y la planificación estratégica, esta región cerebral orquesta una sinfonía de procesos cognitivos que guían nuestras acciones. Sin embargo, su vulnerabilidad a lesiones, adicciones y trastornos mentales subraya la importancia de comprender su funcionamiento y desarrollar estrategias para proteger su integridad.

A pesar de los avances significativos en la investigación sobre la CPF, persisten vacíos teóricos que requieren exploración. Futuros estudios podrían profundizar en la interacción dinámica entre las subregiones de la CPF durante la toma de decisiones en contextos complejos y cambiantes. Además, es crucial investigar cómo factores como el estrés crónico, la privación del sueño y el envejecimiento afectan la función de la CPF y su impacto en la toma de decisiones a lo largo de la vida. Comprender la intrincada relación entre la CPF, la toma de decisiones y la vulnerabilidad a trastornos mentales y adicciones no solo ampliará nuestro conocimiento sobre el cerebro humano, sino que también abrirá nuevas vías para el desarrollo de intervenciones terapéuticas más efectivas y personalizadas.

Papel de la amígdala: integración emocional y respuesta al riesgo

La amígdala (estructura cerebral con forma de almendra ubicada en el lóbulo temporal) desempeña un papel crucial en la regulación de emociones como el miedo y la ansiedad (LeDoux, 2000). Su influencia en la toma de decisiones es particularmente relevante en situaciones que implican riesgos y recompensas.

La amígdala funciona como un sistema de alarma que procesa la relevancia emocional de los estímulos, lo que puede llevar a decisiones rápidas y basadas en las emociones, especialmente en situaciones de



estrés o amenaza, donde prioriza la supervivencia a través de respuestas de lucha o huida (Phelps, 2006). Además, está involucrada en la formación y el almacenamiento de memorias asociadas a eventos emocionales, afectando la forma en que los individuos responden a situaciones futuras que evocan emociones similares, guiando a las decisiones de manera implícita (McGaugh, 2018).

La amígdala no actúa de forma aislada, sino que interactúa estrechamente con regiones de la CPF, como la CPFVM y la COF, para lograr un equilibrio entre las respuestas emocionales rápidas y la deliberación racional de las decisiones (Pessoa, 2008). La CPFVM, en particular, modula la respuesta emocional generada por la amígdala, permitiendo una evaluación más equilibrada de las opciones y facilitando decisiones más racionales (Motzkin et al., 2015).

A nivel neuronal, esta comunicación se basa en el intercambio de señales a través de neurotransmisores como la dopamina y la serotonina. Estudios de neuroimagen han revelado la activación simultánea de estas regiones durante la toma de decisiones emocionales, lo que respalda su interacción funcional (Hampton et al., 2007). Las lesiones en la amígdala pueden resultar en una variedad de déficits en la toma de decisiones, incluyendo dificultades para evaluar el riesgo y la recompensa, así como una tendencia a tomar decisiones impulsivas y desadaptativas. Estos hallazgos resaltan la importancia de la amígdala en la integración de la información emocional en el proceso de toma de decisiones. La disfunción de la amígdala también se ha relacionado con diversos trastornos psiquiátricos. En los trastornos de ansiedad, la amígdala puede mostrar una hiperactividad, lo que lleva a respuestas de miedo exageradas y a la evitación de situaciones potencialmente amenazantes (Etkin & Wager, 2007). En la depresión, se ha observado una disminución de la actividad de la amígdala, lo que puede contribuir a la falta de motivación y a la dificultad para experimentar placer (Drevets et al., 2008).

Aunque se ha avanzado en la comprensión del papel de la amígdala en nuestras decisiones, todavía hay muchas áreas inexploradas. Investigaciones futuras podrían profundizar en cómo factores individuales (personalidad, género, edad, entre otros) y el entorno sociocultural modulan la interacción entre la amígdala y la CPF. Descifrar los mecanismos neuronales detrás de esta interacción podría abrir la puerta a nuevas terapias para trastornos psiquiátricos y optimizar la toma de decisiones en diversos aspectos de la vida.



Papel del núcleo accumbens en la toma de decisiones

El núcleo accumbens (NAcc) es una estructura cerebral clave en la regulación de la motivación, la recompensa, el placer y la toma de decisiones. Su papel crucial se debe a sus conexiones con diversas regiones cerebrales, como la CPF, la amígdala, y el área tegmental ventral (ATV). Estas conexiones permiten al NAcc integrar información de alto nivel (metas de la CPF) y emocional (de la amígdala) para coordinar respuestas conductuales complejas (Park et al., 2019). Por ejemplo, cuando el ATV libera dopamina en el NAcc, se señala la presencia de una recompensa, reforzando así el comportamiento que la produjo. Este mecanismo es fundamental para la toma de decisiones, ya que permite evaluar las recompensas potenciales asociadas a diferentes opciones (Kuan et al., 2024). De hecho, estudios demuestran que la actividad del NAcc se correlaciona directamente con la anticipación y la experiencia de recompensas, reforzando las conductas que conducen a resultados positivos.

A pesar de los avances en la comprensión del NAcc, las investigaciones futuras se expandirán más allá de la dopamina, explorando la interacción con otros neurotransmisores como la serotonina y el glutamato para comprender mejor los mecanismos de recompensa y motivación. Además, será importante estudiar cómo la experiencia y el aprendizaje modifican la estructura y función del NAcc a largo plazo, arrojando luz sobre la formación de hábitos. Las líneas de investigación clave incluyen identificar el papel de los diversos tipos celulares en los circuitos cerebrales, investigar como el contexto social y ambiental influye en su actividad, y explorar la estimulación cerebral profunda como una potencial diana terapéutica para modular el NAcc en trastornos neuropsiquiátricos. Finalmente, el uso de modelos computacionales será relevante para simular la actividad del NAcc y predecir su influencia en la toma de decisiones, incluidas las sociales.

El fundamento molecular: neurotransmisores y toma de decisiones

Los neurotransmisores (NTs) son mensajeros químicos esenciales que permiten la comunicación entre neuronas, facilitando diversas funciones del sistema nervioso central (SNC) a través de la transmisión química. Actúan como amplificadores, transmisores y convertidores de señales, influyendo en funciones cerebrales, el comportamiento y la cognición. Algunos NTs desempeñan un papel crucial en la modulación de procesos cognitivos, incluyendo la toma de decisiones. El equilibrio entre NTs clave como la dopamina (asociada con la motivación y recompensa), la serotonina (que influye en el estado



de ánimo y la impulsividad), la noradrenalina, el glutamato y el GABA es fundamental para una toma de decisiones adecuada y adaptativa (Tabla 3).

Tabla 3

Neurotransmisor	Fuente principal/ regiones clave	Función en la toma de decisiones	Referencias
Dopamina (DA)	ATV (Área tegmental ventral) → NAcc (Núcleo accumbens) y CPF (Corteza prefrontal)	Refuerza comportamientos asociados con recompensas. Incrementa la motivación. Modula la evaluación de riesgos	(Schultz, 2016; Grace et al., 2007; Creutz et al., 2004)
Serotonina (5-TH)	Núcleo del Rafe → CPF y amígdala	Regula el control emocional y la impulsividad. Modula la aversión al riesgo	(Bari et al., 2010; Alex & Pehek, 2007; Crockett et al., 2010)
Noradrenalina (NAFD)/norepinefrina	Locus Coeruleus → Áreas corticales y subcorticales (Ej. CPFDL, amígdala)	Regula la atención y la alerta elevada. Facilita la flexibilidad cognitiva y la adaptación a la incertidumbre	(Aston-Jones & Cohen, 2005; Ji & Neugebauer, 2012; Aston-Jones & Waterhouse, 2016)
Glutamato	Principal NT excitador del SNC. Ampliamente distribuido en CPF y Estriado	Esencial para la plasticidad sináptica, el aprendizaje y la memoria. Facilita la flexibilidad cognitiva	(Fu et al., 2019; Traynelis et al., 2010; Li et al., 2019)
Ácido Gamma-aminobutírico (GABA)	Principal NT inhibidor del SNC. Actúa en la CPF	Modula la excitabilidad neuronal y mantiene el equilibrio con el glutamato. Crucial para la flexibilidad cognitiva	(Floresco, 2013)

La neurociencia de la decisión en la era digital

La era digital, caracterizada por la omnipresencia tecnológica, ha transformado radicalmente la forma en que tomamos decisiones, obligando a la neurociencia a explorar cómo este entorno impacta a los procesos cerebrales. La avalancha de información y las constantes notificaciones sobrecargan nuestra capacidad de atención, y estudios sugieren que la multitarea digital afecta negativamente la memoria de trabajo y la capacidad de concentración, perjudicando la toma de decisiones racionales (Uncapher & Wagner, 2018). Además, las redes sociales influyen directamente en los circuitos de recompensa del cerebro al exponer a los usuarios a la búsqueda constante de aprobación social, lo que sesga las



elecciones y amplifica sesgos cognitivos preexistentes (Meshi et al., 2013). La gratificación instantánea inherente a la tecnología fomenta la impulsividad, y se ha asociado el uso problemático de internet con cambios en la función cerebral similares a los observados en otras adicciones (Kuss & Griffiths, 2012; Brand et al., 2016). La necesidad de establecer límites saludables es especialmente crítica en niños y adolescentes, donde la exposición excesiva a pantallas se asocia con cambios en la estructura cerebral que afectan el control y la búsqueda de recompensas inmediatas (Hutton et al., 2022).

Comprender la neurobiología de la decisión en este contexto digital es vital para el futuro. Un área de investigación clave es la comparación de decisiones tomadas en entornos virtuales (videojuegos y/o simulaciones) con las del mundo real, donde si bien ambas activan regiones similares como la CPF y el sistema límbico, el entorno virtual puede enfocarse menos en consecuencia a largo plazo y más en recompensas inmediatas (Montague et al., 2006; Bolling et al., 2011). Abordar estos desafíos y explorar las nuevas direcciones de investigación es crucial para que la neurociencia desarrolle estrategias que permitan a los individuos navegar de manera efectiva y responsable en el mundo digital. La tecnología está reconfigurando nuestra forma de pensar y tomar decisiones, por lo que el estudio de estos cambios tiene implicaciones prácticas significativas para mejorar el bienestar individual y social.

DISCUSIÓN

En la presente revisión se han delineado las bases neurobiológicas de la toma de decisiones, que se ha revelado como un proceso que es inherentemente complejo que se sustenta en una interacción dinámica entre los sistemas cerebrales de control cognitivo y de procesamiento emocional. El papel de la corteza prefrontal (CPF) como "director de orquesta" es irrefutable, ya que es esencial para las funciones ejecutivas de planificación, flexibilidad cognitiva e inhibición de impulsos. La diferenciación de funciones entre sus subregiones, como la corteza prefrontal ventromedial (CPFVM) en la valoración de riesgos y la corteza prefrontal dorsolateral (CPFDL) en la memoria de trabajo, subraya la sofisticación de la maquinaria cerebral necesaria para realizar una elección adaptativa.

El análisis de las estructuras subcorticales demuestra que la decisión racional no es aislada, sino que requiere una constante modulación emocional y motivacional. La amígdala aporta una evaluación rápida de amenazas y recompensas, mientras que el hipocampo integra la memoria espacial y contextual, y el núcleo accumbens (NAcc) dirige la conducta reforzando la recompensa.



Este equilibrio se manifiesta claramente en la vulnerabilidad de la adolescencia, donde la maduración tardía de la CPF y el desarrollo acelerado del sistema límbico crean un desfase que predispone a la impulsividad y a las conductas de riesgo. La evidencia de las lesiones cerebrales y las disfunciones etiológicas (TCE, ACV, trastornos psiquiátricos, entre otros) refuerza la idea de que cualquier alteración en la integridad de la CPF compromete seriamente la capacidad del individuo para tomar decisiones funcionales y a largo plazo.

El fundamento molecular de esta red se encuentra en la interacción de los neurotransmisores. La dopamina es fundamental para el refuerzo y la motivación, mientras que la serotonina regula la impulsividad y la aversión al riesgo, y la noradrenalina modula la alerta y la atención selectiva, optimizando la respuesta en situaciones críticas. El balance entre la excitación (glutamato) y la inhibición (GABA) es crucial para la flexibilidad cognitiva. Actualmente, este delicado equilibrio se ve desafiado por la era digital, donde la sobrecarga informativa y la gratificación instantánea afectan negativamente la memoria de trabajo y la capacidad de concentración.

La aplicación de la neurociencia abarca desde el diseño de estrategias pedagógicas que fomentan el pensamiento crítico en la juventud hasta la neuroética, que aborda las implicaciones del conocimiento cerebral en la responsabilidad legal y la manipulación de la moralidad. El desarrollo de neurotecnologías emergentes, como el neurofeedback y la estimulación cerebral, plantea serios desafíos éticos en relación con la autonomía, la autenticidad y la equidad. Por lo tanto, el futuro de la investigación no solo debe centrarse en una comprensión más profunda de las interacciones moleculares y estructurales (explorando, por ejemplo, el NAcc y la CPF en contextos sociales), sino también en trabajar activamente en el desarrollo de intervenciones tempranas y políticas públicas que protejan el desarrollo cerebral de los jóvenes en la era digital. El estudio continuo de la neurobiología de la toma de decisiones es, en última instancia, una vía esencial para mejorar el bienestar individual y la adaptación social en un mundo de creciente complejidad.

METODOLOGÍA

La metodología adoptada para este artículo consistió en una revisión narrativa de la literatura científica y teórica existente sobre la neurociencia de la toma de decisiones. Este tipo de revisión busca sintetizar y analizar de manera crítica y profunda los hallazgos más relevantes en el campo, en lugar de seguir un



protocolo de búsqueda sistemático y exhaustivo. El enfoque principal se centró en identificar los mecanismos cerebrales y la modulación neurotransmisora subyacente al proceso de decisión. Para ello, se seleccionaron estudios clave que detallan la función de regiones cerebrales esenciales como la corteza prefrontal (CPF) y sus subregiones en el control ejecutivo y la evaluación de opciones. También se incluyó la evidencia sobre el papel del sistema límbico, destacando la amígdala (integración emocional y riesgo) y el núcleo accumbens (NAcc) que participa en la motivación y recompensa.

Finalmente, se abordó la influencia de los principales neurotransmisores (dopamina, serotonina, noradrenalina, glutamato y GABA), y se discutieron las implicaciones éticas y los desafíos actuales impuestos por las neurotecnologías y la era digital en la atención y la memoria de trabajo. El objetivo fue ofrecer una comprensión integral y actualizada, enfatizando la necesidad de enfoques multimodales para el futuro de la investigación.

RESULTADOS

La revisión narrativa establece que la toma de decisiones es un proceso neurobiológico complejo, con la CPF actuando como el centro de control ejecutivo, crucial para la planificación, el razonamiento y la inhibición de impulsos. Este control es modulado por estructuras subcorticales: la amígdala influye en las decisiones emocionales y la evaluación de riesgos, y el núcleo accumbens (NAcc) es esencial para la motivación y el procesamiento de la recompensa. A nivel molecular, neurotransmisores como la dopamina y la serotonina regulan la motivación, el estado de ánimo y la impulsividad. La maduración tardía de la CPF en la adolescencia crea un desequilibrio que aumenta la propensión a conductas de riesgo. Por otra parte, la era digital representa un desafío contemporáneo, ya que la sobrecarga cognitiva y la gratificación instantánea afectan negativamente la atención y la memoria de trabajo. Estos hallazgos subrayan la necesidad de enfoques multimodales e inteligencia artificial para una comprensión más completa y el desarrollo de estrategias de intervención.

CONCLUSION

La toma de decisiones es un proceso esencial para la supervivencia y la adaptación, orquestado por una compleja red neurobiológica en la que interactúan sistemas de control cognitivo y procesamiento emocional. Esta revisión ha demostrado que la CPF actúa como el centro de control ejecutivo, la planificación y la inhibición de impulsos, operando en diálogo constante con el sistema límbico, en



donde la amígdala procesa el riesgo emocional y el NAcc dirige la motivación por la recompensa. Este equilibrio se mantiene y modula a nivel molecular por la interacción de neurotransmisores clave (dopamina, serotonina y noradrenalina), y su desequilibrio se manifiesta en períodos de vulnerabilidad como la adolescencia debido a la maduración prolongada de la CPF. La comprensión de estos fundamentos ha abierto aplicaciones como el neuromarketing y ha generado profundos debates en neuroética sobre la responsabilidad y las implicaciones de las neurotecnologías. Finalmente, los desafíos contemporáneos de la era digital, que afectan la atención y los circuitos de recompensa, exigen que las investigaciones futuras se centren en enfoques multimodales y el uso de la inteligencia artificial, no solo para un entendimiento más completo de los mecanismos cerebrales, sino también para desarrollar estrategias que mejoren la toma de decisiones y el bienestar social en un mundo cada vez más digitalizado y complejo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alexander L, Wood CM, Roberts AC. (2023). The ventromedial prefrontal cortex and emotion regulation: lost in translation? *J Physiol.* 601(1):37-50. <https://doi.org/10.1113/JP282627>.
- Alex KD, Pehek EA. (2007). Pharmacologic mechanisms of serotonergic regulation of dopamine neurotransmission. *Pharmacol Ther.* 113(2):296-320. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2006.08.004>.
- Apergis-Schouute, A. M., Bijleveld, B., Gillan, C. M., Fineberg, N. A., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2018). Hyperconnectivity of the ventromedial prefrontal cortex in obsessive-compulsive disorder. *Brain Neurosci Adv.* 2:1-10. <https://doi.org/10.1177/2398212818808710>.
- Aston-Jones G, Cohen JD. (2005). An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: adaptive gain and optimal performance. *Ann Rev Neurosci.* 28:403-450. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.28.061604.135709>.
- Aston-Jones G, Waterhouse B. (2016). Locus coeruleus: from global projection system to adaptive regulation of behavior. *Brain Res.* 1645:75-78. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.03.001>.
- Attaallah B, Petitet P, Zambellas R, Toniolo S, Maio MR, Ganse-Dumrath A, Irani SR, Manohar SG, Husain M. (2024). The role of the human hippocampus in decision-making under uncertainty. *Nat Hum Behav.* 8:1366–1382. <https://doi.org/10.1038/s41562-024-01855-2>.



- Baddeley A. (2012). Working Memory: Theories, Models, and Controversies. *Annu Rev Psychol.* 63:1-29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>.
- Bari A, Robbin TW, Dalley JW. (2010). Serotonin modulates sensitivity to reward and negative feedback in a probabilistic reversal learning task in rats. *Neuropsychopharmacology.* 35(6):1290-1301. <https://doi.org/10.1038/npp.2009.233>.
- Bartra O, McGuire JT, Kable JW. (2013). The valuation system: a coordinate-based meta-analysis of BOLD fMRI experiments examining neural correlates of subjective value. *NeuroImage.* 76:412–427. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.02.063>.
- Bechara A, Damasio H, Damasio AR, Anderson SW. (2000). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition.* 50(1-3):7-15. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90018-3).
- Blumenfeld RS, Ranganath C. (2006). Dorsolateral prefrontal cortex promotes long-term memory formation through its role in working memory organization. *J Neurosci.* 26(3):916-925. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2353-05.2006>.
- Bolling DZ, Pitskel NB, Deen B, Crowley MJ, McPartland JC, Mayes LC, Pelphrey K A. (2011). Dissociable brain mechanisms for processing social exclusion and rule violation. *NeuroImage.* 54(3):2462–2471. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.049>.
- Brand M, Young KS, Laier C, Wölfling K, Potenza MN. (2016). Integrating psychological and neurobiological considerations regarding the development and maintenance of specific Internet-use disorders: An Interaction of Person-Affect-Cognition-Execution (I-PACE) model. *Neurosci Biobehav Rev.* 71:252-266. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.08.033>.
- Castillo, E. G., Ijadi-Maghsoodi, R., Shadravan, S., Moore, E., Mensah, M. O., 3rd, Docherty, M., Aguilera Nunez, M. G., Barcelo, N., Goodsmith, N., Halpin, L. E., Morton, I., Mango, J., Montero, A. E., Rahamanian Koushkaki, S., Bromley, E., Chung, B., Jones, F., Gabrielian, S., Gelberg, L., Greenberg, J. M., ... Wells, K. B. (2019). Community Interventions to Promote Mental Health and Social Equity. *Curr Psychiatry Rep.* 21(5):35. <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1017-0>.



- Crockett MJ, Clark L, Hauser MD, Robbins TW. (2010). Serotonin selectively influences moral judgment and behavior through effects on harm aversion. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 107(40):17433-174438. <https://doi.org/10.1073/pnas.1009396107>.
- Drevets WC, Price JL, Furey ML. (2008). Brain structural and functional abnormalities in mood disorders: implications for neurocircuitry models of depression. *Brain Struct Funct.* 213(1-2):93-118. <https://doi.org/doi:10.1007/s00429-008-0189-x>.
- Etkin A, Wager TD. (2007). Functional neuroimaging of anxiety: a meta-analysis of emotional processing in PTSD, social anxiety disorder, and specific phobia. *Am J Psychiatry.* 164(10):1476-1488. <https://doi.org/doi:10.1176/appi.ajp.2007.07030504>.
- Fellows LK. (2016). The Neuroscience of Human Decision-Making Through the Lens of Learning and Memory. *Curr Top Behav Neurosci.* 37:231-251.
- Floresco SB. (2013). Prefrontal dopamine and behavioral flexibility: shifting from an "inverted-U" towards a family of functions. *Front Neurosci.* 7:62. <https://doi.org/doi:10.3389/fnins.2013.00062>.
- Friedman NP, Robbins TW. (2022). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology.* 47(1):72-89. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>.
- Fu H, Chen Z, Josephson L, Li Z, Liang SH. (2019). Positron Emission Tomography (PET) ligand development for ionotropic glutamate receptors: challenges and opportunities for radiotracer targeting N-methyl-D-aspartate (NMDA), alpha-Amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionic Acid (AMPA) and Kainate Receptors. *J Med Chem.* 62(2):403-419. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.8b00714>.
- Funahashi S. (2017). Prefrontal Contribution to Decision-Making under Free-Choice Conditions. *Front Neurosci.* 11:431. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00431>.
- Galvan A, Hare TA, Parra CE, Penn J, Voss H, Glover G, Casey BJ. (2006). Earlier development of the accumbens relative to orbitofrontal cortex might underlie risk-taking behavior in adolescents. *J Neurosci.* 26(25):6885-6892. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1062-06.2006>.
- Grace AA, Floresco SB, Goto Y, Lodge DJ. (2007). Regulation of firing of dopaminergic neurons and control of goal-directed behaviors. *Trends Neurosci.* 30(5):220-227.



<https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.03.003>.

Hampton AN, Adolphs R, Tyszka MJ, O'Doherty JP. (2007). Contributions of the amygdala to reward expectancy and choice signals in human prefrontal cortex. *Neuron*. 55(4);545–555.

<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.07.022>.

Hartling C, Metz S, Pehr, C, Scheidegger M, Gruzman R, Keicher C, Wunder A, Weigand A, Grimm S. (2021). Comparison of Four fMRI Paradigms Probing Emotion Processing. *Brain Sci*. 11(5):525. <https://doi.org/10.3390/brainsci11050525>.

Hiser J, Koenigs M. (2018). The Multifaceted Role of the Ventromedial Prefrontal Cortex in Emotion, Decision Making, Social Cognition, and Psychopathology. *Biol Psychiatry*. 83(8):638-647.

Hutton JS, Dudley, DeWitt, T, Horowitz-Kraus T. (2022). Associations between digital media use and brain surface structural measures in preschool-aged children. *Sci Rep*. 12(1):19095. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20922-0>.

Ji G, Neugebauer V. (2012). Modulation of medial prefrontal cortical activity using in vivo recordings and optogenetics. *Mol Brain*. 5(1):36. <https://doi.org/doi:10.1186/1756-6606-5-36>.

Jorge RE. (2005). Neuropsychiatric consequences of traumatic brain injury: a review of recent findings. *Curr Opin Psychiatry*. 18(3):289-299. <https://doi.org/10.1097/01.yco.0000165600.90928.92>.

Koob GF, Volkow ND. (2016). Neurobiology of addiction: a neurocircuitry analysis. *Lancet Psychiatry*. 3(8):760-773. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(16\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(16)00104-8).

Kroker T, Wyczesany M, Rehbein, Roesmann K, Wessing I, Junghöfer. (2022). Noninvasive stimulation of the ventromedial prefrontal cortex modulates rationality of human decision-making. *Sci Rep*. 12(1):20213. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24526-6>.

Kuan AT, Bondanelli G, Driscoll LN, Han J, Kim M, Hildebrand DGC, Graham BJ, Wilson DE, Thomas LA, Panzeri S, Harvey CD, Lee WCA. (2024). Synaptic wiring motifs in posterior parietal cortex support decision-making. *Nature*. 627:367-373. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07088-7>.

Kuss DJ, Griffiths MD. (2012). Internet and gaming addiction: a systematic literature review of neuroimaging studies. *Brain Sci*. 2(3):347-374. <https://doi.org/doi:10.3390/brainsci2030347>.



LeDoux JE. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annu Rev Neurosci.* 23:155-184.

<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.23.1.155>.

Li CT, Yang KC, Lin WC. (2019). Glutamatergic Dysfunction and Glutamatergic Compounds for Major Psychiatric Disorders: Evidence From Clinical Neuroimaging Studies. *Front Psychiatry.* 9:767. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00767>.

Madhusoodanan S, Ting MB, Farah T, Ugur U. (2015). Psychiatric aspects of brain tumors: A review. *World J Psychiatry.* 5(3):273-285. <https://doi.org/10.5498/wjp.v5.i3.273>.

McGaugh JL. (2018). Emotional arousal regulation and the amygdala's role in the formation of lasting memories. *Curr Opin Behav Sci.* 19:55-60. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.10.003>.

Meshi D, Morawetz C, Heekeren HR. (2013). Nucleus accumbens response to gains in reputation for the self relative to gains for others predicts social media use. *Front Hum Neurosci.* 7:439. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00439>.

Miller EK, Cohen JD. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci.* 24:167-202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>.

Montague PR, King-Casas B, Cohen JD. (2006). Imaging valuation models in human choice. *Annu Rev Neurosci.* 29:417-448. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.29.051605.112903>.

Morgan AA, Alves ND, Stevens GS, Yeasmin TT, Mackay A, Power S, Sargin D, Hanna C, Adib AL, Ziolkowski-Blake A, Lambe EK, Ansorge MS. (2023). Medial Prefrontal Cortex Serotonin Input Regulates Cognitive Flexibility in Mice. *bioRxiv: the preprint server for biology.* 2023.03.30.534775. <https://doi.org/10.1101/2023.03.30.534775>.

Motzkin JC, Philippi CL, Wolf RC, Baskaya MK, Koenigs M. (2015). Ventromedial prefrontal cortex is critical for the regulation of amygdala activity in humans. *Biol Psychiatry.* 77(3):276-284. <https://doi.org/doi:10.1016/j.biopsych.2014.02.014>.

Nelson EE, Guyer AE. (2011). The development of the ventral prefrontal cortex and social flexibility. *Dev Cogn Neurosci.* 1(3):233-245. <https://doi.org/doi:10.1016/j.dcn.2011.01.002>.

Park YS, Sammartino F, Young NA, Corrigan J, Krishna V, Rezai AR. (2019). Anatomic review of the ventral capsule/ventral striatum and the nucleus accumbens to guide target selection for Deep brain stimulation for obsessive-compulsive disorder. *World Neurosurg.* 126:1-10.



[https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.01.254.](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.01.254)

Paus, T., Keshavan, M., & Giedd, J. N. (2008). Why do many psychiatric disorders emerge during adolescence? *Nat Rev Neurosci*. 9(12):947-957. <https://doi.org/doi:10.1038/nrn2513>.

Pessoa L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nat Rev Neurosci*. 9(2):148-158. <https://doi.org/10.1038/nrn2317>.

Preznenki S, Brechmann A, Wolff S, Russwinkel N. (2017). A Cognitive Modeling Approach to Strategy Formation in Dynamic Decision Making. *Front Psychol*. 8:1335. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01335>.

Rascovsky K, Hodges JR, Knopman D, et al. (2011). Sensitivity of revised diagnostic criteria for the behavioural variant of frontotemporal dementia. *Brain*. 134(Pt 9):2456-2477. <https://doi.org/doi:10.1093/brain/awr179>.

Rahman MA, Uddin MS, Ahmad M. (2019). Modeling and classification of voluntary and imagery movements for brain-computer interface from fNIR and EEG signals through convolutional neural network. *Health Inf Sci Syst*. 7(1):22. <https://doi.org/10.1007/s13755-019-0081-5>.

Ridderinkhof KR, Ullsperger M, Crone EA, Nieuwenhuis S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*. 306(5695):443-447. <https://doi.org/10.1126/science.1100301>.

Robbins TW, Everitt BJ. (1996). Neurobehavioural mechanisms of reward and motivation. *Curr Opin Neurobiol*. 6(22):228-236.

Seghier ML, Mohamed AF, Claudine H. (2019). Educational fMRI: From the Lab to the Classroom. *Front Psychol*. 10:2769. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02769>.

Shen J, Liu N, Li D, Zhang B. (2022). Behavioral Analysis of EEG Signals in Loss-Gain Decision-Making Experiments. *Behav Neurol*. 2022:3070608. <https://doi.org/10.1155/2022/3070608>.

Stoll FM, Rudebeck PH. (2024). Decision-making shapes dynamic inter-areal communication within macaque ventral frontal cortex. *bioRxiv: the preprint server for biology*. 2024.07.05.602229. <https://doi.org/10.1101/2024.08.03.554024>.

Traynelis SF, Wollmuth LP, McBain CJ, Menniti FS, Vance KM, Ogden KK, Hansen, KB, Yuan H, Myers SJ, Dingledine R. (2010). Glutamate receptor ion channels: structure, regulation, and



function. *Pharmacol Rev.* 62(3):405-496. <https://doi.org/10.1124/pr.109.002451>.

Uncapher MR, Wagner AD. (2018). Minds and brains of media multitaskers: Current findings and future directions. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 115(40):9889-9896.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1611612115>.

Vassena E, Deraeve J, Alexander WH. (2020). Surprise, value and control in anterior cingulate cortex during speeded decision-making. *Nat Hum Behav.* 4(4):412-422. <https://doi.org/10.1038/s41562-019-0801-5>.

Wright J. (2018). Seeing patterns in neuroimaging data. *Prog Brain Res.* 243:299-323.
<https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.025>.

Yuan P, Raz N. (2014). Prefrontal cortex and executive functions in healthy adults: a meta-analysis of structural neuroimaging studies. *Neurosci Biobehav Rev.* 42:180-192.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.02.005>.

