

# Bases Neurobiológicas de la Regulación Emocional en la Adolescencia

Julieta Ramos-Loyo<sup>1</sup>, Christian L. Castellanos-Gutiérrez<sup>1</sup>, y Luis A. Llamas-Alonso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Psicofisiología de Procesos Cognitivos y Emocionales, Instituto de Neurociencias, CUCBA, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales, Universidad Autónoma de Baja California. Baja California, México.

## Nota de Autor

Julieta Ramos-Loyo  <https://orcid.org/0000-0002-4885-6567>

Christian L. Castellanos-Gutiérrez  <https://orcid.org/0000-0002-0295-7100>

Luis A. Llamas-Alonso  <https://orcid.org/0000-0002-4736-769X>

Sin conflictos de interés por declarar.

Correspondencia relacionada a este artículo deberá dirigirse a Julieta Ramos Loyo. Laboratorio de Psicofisiología de Procesos Cognitivos y Emocionales. Instituto de Neurociencias, CUCBA, Universidad de Guadalajara. Francisco de Quevedo #180, Col. Arcos Vallarta, CP 44130. Guadalajara, Jalisco, México. Teléfono: (+52) 337771150, ext. 33354. Correo electrónico: [julieta.ramos@academicos.udg.mx](mailto:julieta.ramos@academicos.udg.mx)

### Resumen

La adolescencia es una etapa crítica del desarrollo, en donde tienen lugar una serie de cambios anatómicos, fisiológicos y comportamentales que serán fundamentales en la definición de la vida adulta de la persona. Estos cambios ocurren dentro de un contexto social, en donde acontecen eventos con una connotación emocional que pueden afectar de manera importante la toma de decisiones de los adolescentes en mayor medida que en personas adultas. Las dificultades que presentan los adolescentes en la regulación de su conducta y sus emociones se debe, en parte, a que procesos cognitivos de alto orden como son las funciones ejecutivas, particularmente la inhibición, dependientes de la maduración de las regiones prefrontales del cerebro, aún están en desarrollo. La presencia de estímulos emocionales puede afectar los procesos ejecutivos, debido a un desbalance entre la sobreactivación del sistema límbico y su regulación proveniente de las regiones prefrontales. El presente trabajo se centra en los cambios neurofisiológicos y cognitivos que ocurren en los adolescentes relacionados con las dificultades que presentan en la regulación de su conducta, particularmente ante la presencia de estímulos o eventos con contenido emocional.

*Palabras clave:* adolescencia, inhibición, emoción, regulación emocional

### Neurobiological Bases of Emotional Regulation in Adolescence

#### Abstract

Adolescence is a critical stage of development during which a series of anatomical, physiological, and behavioral changes occur that will be fundamental in defining a person's adult life. These changes occur within a social context, where events have an emotional connotation that can significantly affect the decision-making of adolescents to a greater extent than in adults. The difficulties that adolescents have in regulating their behavior and emotions are due, in part, to the fact that higher-order cognitive processes, such as executive functions, particularly inhibition, dependent on the maturation of the prefrontal regions of the brain, are still developing. The presence of emotional stimuli can affect executive processes due to an imbalance between the overactivation of the limbic system and its regulation coming from the prefrontal regions. The present work focuses on the neurophysiological and cognitive changes that occur in adolescents related to their difficulties regulating their behavior, particularly in the presence of stimuli or events with emotional content.

*Key words:* adolescence, inhibition, emotion, emotional regulation

### **Bases Neurobiológicas de la Regulación Emocional en la Adolescencia**

La adolescencia es una etapa crítica del desarrollo en la cual suceden grandes cambios anatómicos, fisiológicos, cognitivos, conductuales y socioemocionales (Hein et al., 2009). En esta etapa mejoran las habilidades de razonamiento abstracto, planeación y toma de decisiones. Asimismo, estos cambios permiten al adolescente tener una mayor comprensión de su papel en la sociedad, expandir sus relaciones sociales y desarrollar su autonomía. Un aspecto característico de la adolescencia es el incremento en la importancia de las relaciones con sus pares y parejas románticas. Además, en general, los adolescentes experimentan un incremento en la emocionalidad, es decir, en la intensidad y la frecuencia de sus emociones, particularmente en ambientes sociales (Guyer et al., 2016).

Sin embargo, los adolescentes también tienden a cometer una serie de conductas de riesgo, como conducir un automóvil de manera imprudente, consumir drogas, tener sexo sin protección, involucrarse en peleas, etc. (Casey et al., 2008), las cuales tienen consecuencias importantes en su vida a mediano y largo plazo. También se ha observado en ellos un incremento de la psicopatología relacionada con alteraciones afectivas (Guyer et al., 2016; Hare et al., 2008). De esta manera, los adolescentes demuestran dificultades en la regulación de su conducta y sus emociones.

La regulación de la conducta es fundamental para una adaptación social exitosa al facilitar la adaptación a las normas culturales y la consecución de metas intra e interpersonales (Stifter y Augustine, 2019). La regulación de la conducta y las emociones depende de las funciones ejecutivas que son aquellos procesos que permiten la consecución de metas. Entre estas funciones se encuentran el control atencional, la inhibición, la planeación, la flexibilidad mental y la toma de decisiones (Diamond, 2013). Esta regulación es afectada por la relevancia emocional de los eventos o estímulos a los que estamos expuestos cotidianamente. De esta forma, los estímulos emocionales pueden facilitar o interferir con la regulación emocional, la cual se relaciona con la forma en la que experimentamos y expresamos las emociones (Gross, 1998).

Los cambios ocurridos en los procesos cognitivos y la conducta de los adolescentes tienen como base cambios substanciales en el cerebro. Además de los cambios anatómicos, se observan cambios en la activación de distintas estructuras cerebrales y de manera importante, se observa una reorganización de los circuitos neuronales a través de redes que conducen a una mayor flexibilidad, eficiencia y especialización (Casey et al., 2019; Ernst et al., 2015). Un factor relevante en estos cambios neurales durante la adolescencia es el influjo de las hormonas sexuales. Los problemas de regulación emocional durante la adolescencia se deben en parte, al desbalance entre la hiperactivación de las estructuras del sistema límbico originada por el influjo hormonal y la maduración incompleta de las áreas prefrontales del cerebro.

El enfoque de este trabajo se centra en los cambios neurofisiológicos y cognitivos que ocurren en los adolescentes relacionados con las dificultades que presentan en la regulación de su conducta y sus emociones.

### **Regulación Emocional**

Thompson (1994) propuso que la regulación emocional es un proceso encargado de monitorear, evaluar y modular las reacciones emocionales, tanto en su intensidad como en su duración, de manera que no obstaculicen la consecución de metas. Estos procesos pueden

originarse internamente, es decir, por el propio individuo, o externamente a causa de factores ambientales. De esta manera, la regulación emocional puede ser entendida en términos de una interacción entre los procesos cognitivos y emocionales donde los primeros se encargan de modular a los segundos; dicha modulación, además de incidir en la intensidad y la duración, también puede modificar la naturaleza de las reacciones emocionales (Martin y Ochsner, 2016). Por su parte, Gross (1998) postula a la regulación emocional como la activación de una meta que influye en cualquier etapa del proceso de generación de las emociones. Desde esta perspectiva, tanto la regulación como la generación de emociones son aspectos interrelacionados dentro de un mismo proceso dinámico. La activación de una meta específica puede ocurrir desde el inicio de la generación de una emoción hasta el momento en que la respuesta emocional ya se ha desencadenado.

Una visión integral de la regulación emocional involucra el abordaje de sistemas neurofisiológicos, conductuales y psicológicos que cambian a lo largo del desarrollo humano (Stifter y Augustine, 2019). Además, la regulación emocional se puede dar de manera consciente o inconsciente e implica no sólo la experiencia emocional, sino también las conductas que la acompañan (Ochsner y Gross, 2005). Braunstein y colaboradores (2017) propusieron una conceptualización que permite clasificar las estrategias y conductas que pueden ser utilizadas para regular las emociones, así como los sistemas neurales implicados. Su enfoque se basa en las dos operaciones psicológicas que subyacen a la regulación emocional: 1) la naturaleza de la meta o la necesidad que motiva la regulación emocional y; 2) el proceso de modificación o regulación de la emoción. La naturaleza de la meta puede ubicarse en una escala que va de lo implícito a lo explícito. Esto se refiere al grado de conciencia del deseo de cambiar sus estados emocionales, donde una meta explícita implicaría un alto grado de conciencia del deseo de modificar la emoción. Por su parte, la naturaleza del proceso de cambio puede ser situada en un continuo que va desde lo automático hasta lo controlado, dependiendo de cuánto esfuerzo realice el individuo para modificar su emoción.

Para Braunstein y colaboradores (2017), las operaciones psicológicas referidas anteriormente, interactúan en un sistema ortogonal que forma una especie de plano cartesiano con cuatro cuadrantes. En uno de esos cuadrantes se pueden ubicar las estrategias que tienen metas explícitas y procesos de cambio controlados, como la reevaluación, donde el individuo hace un esfuerzo consciente para cambiar la asignación emocional de un estímulo y así, modificar su respuesta emocional. En otro cuadrante se refieren las estrategias que pueden tener metas implícitas y cuyo proceso de cambio es automático, como la extinción de respuestas emocionales producto de la presentación repetida de un estímulo sin reforzador. De igual forma, en un tercer cuadrante se pueden ubicar las estrategias explícitas y automáticas, como el efecto placebo, que se caracterizan por un deseo consciente de cambio de la emoción ante un proceso de regulación sin esfuerzo. Por último, en el cuarto cuadrante están las estrategias implícitas y controladas, las que implican una necesidad de regulación emocional no consciente ante un proceso enfocado y con alto esfuerzo dirigido a otra meta no relacionada con la emoción. Un ejemplo de este tipo de estrategia estaría involucrado en la realización de una tarea *Go/NoGo* en donde se presenta un estímulo emocional al que no se debe atender (implícita), de manera simultánea al estímulo que deben atender o inhibir; no obstante, para atender al objetivo de inhibir la respuesta, la persona debe inhibir la interferencia del estímulo emocional presentado en un nivel no consciente.

### **Importancia del Control Inhibitorio en la Regulación Emocional**

La regulación emocional es un proceso integrador que involucra varios procesos cognitivos simultáneamente. En términos generales, se considera que la regulación emocional depende de manera fundamental de las funciones ejecutivas que incluyen el control inhibitorio, la memoria de trabajo u operativa, la categorización, el cambio atencional, la flexibilidad cognitiva y la toma de decisiones que llevan a la consecución de una meta (Nigg, 2017; Zelazo y Cunningham, 2007). Diamond (2013) propone que la inhibición, es indispensable para el autocontrol y la resistencia a los actos impulsivos; el control de la interferencia, permite el enfoque atencional y la inhibición cognitiva; la memoria de trabajo facilita el mantenimiento y la manipulación de la información importante para realizar una tarea específica y; la flexibilidad cognitiva, es crucial para comprender los eventos desde diferentes perspectivas y, finalmente, adaptarse de manera rápida y flexible a los cambios en el entorno.

Barkley (1997) define al control inhibitorio como el proceso fundamental en el que se basan las demás funciones ejecutivas. Nigg (2000) por su parte, divide la inhibición en cuatro tipos: a) el control de la interferencia que permite eliminar la interferencia de estímulos que compiten por la atención; b) la inhibición cognitiva que suprime la ideación no pertinente para proteger la memoria de trabajo y la atención; c) la inhibición de la conducta que suprime tanto las respuestas automáticas o predominantes como las respuestas ya iniciadas; d) la inhibición oculomotora que se refiere a la supresión voluntaria de los movimientos sacádicos reflejos.

Los procesos cognitivos relacionados con la regulación emocional dependen del tipo de estrategia utilizada. Así, estrategias centradas en los aspectos atencionales, como la distracción, van a requerir de procesos cognitivos como la atención selectiva, la memoria de trabajo y la interocepción. La reevaluación, por su parte, involucra la atención selectiva, la memoria de trabajo, la memoria episódica, la memoria semántica, la empatía, la teoría de la mente, el lenguaje y el control inhibitorio. Las estrategias centradas en la respuesta emocional se conforman de procesos como la atención selectiva, la interocepción y la inhibición de las respuestas (Morawetz et al., 2017).

### **Bases Neurobiológicas de la Regulación Emocional**

Todos estos procesos cognitivos asociados con la regulación emocional dependen del funcionamiento de distintos circuitos neuronales. La capacidad para inhibir eventos o respuestas y regular la conducta depende de manera fundamental del funcionamiento de las regiones prefrontales del cerebro. Estas regiones ejercen un control *top-down* sobre otras regiones de entrada de información sensorial y sobre aquellas relacionadas con las emociones como la amígdala, la ínsula y el estriado ventral. Estas últimas se asocian con procesos *bottom-up* de bajo orden implicados en respuestas automáticas o autonómicas y la reactividad emocional (Braunstein et al., 2017; Diekhof et al., 2011; Helion et al., 2019; Nigg, 2017). Los procesos *top-down* en cambio, son procesos de alto orden involucrados en el funcionamiento ejecutivo y dependen esencialmente de la corteza prefrontal dorsolateral (CPFdl) asociada con la planeación, la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y la inhibición (Llamas-Alonso et al. 2019; Nigg, 2017).

Distintas regiones de la corteza prefrontal participan de manera selectiva e integrada en circuitos neurales responsables de llevar a cabo los diferentes aspectos de la inhibición y la regulación de la conducta y las emociones. Así, por ejemplo, mientras que la CPFdl participa de

manera relevante en el control de la interferencia y la memoria de trabajo, la corteza prefrontal ventrolateral (CPFvl) participa en la regulación de las respuestas y las emociones (Bari y Robbins, 2013; Dillon y Pizzagalli, 2007; Friedman y Miyake, 2004; Fuster, 2001; Munakata et al., 2011; Nigg, 2000). A continuación, se desglosan las distintas estructuras implicadas en la regulación emocional (ver Figura 1).

La corteza cingulada anterior (CCA) se ha asociado tanto con el control cognitivo como con la detección de conflictos entre representaciones simultáneamente activas (Carter y Van Veen, 2007). La porción dorsal de la corteza cingulada anterior (CCAd) se ha visto mayormente implicada en tareas de control cognitivo. Dicha estructura tiene conexiones con la ínsula, la amígdala, el estriado ventral y con las regiones laterales de la CPF (CPFli). Con relación a las emociones, la CCAd se involucra en situaciones que requieren de la supresión de las respuestas automáticas ante estímulos emocionalmente relevantes (Shenhav et al., 2013). También se ha descrito que esta región tiene un papel crucial en el monitoreo del proceso de regulación emocional y se ha observado que su actividad incrementa ante estrategias de metas explícitas y procesos controlados, como lo es la reevaluación (Braunstein et al., 2017). Por otra parte, la porción rostral de la CCA (CCAr) inhibe a la amígdala en tareas que implican la resolución de conflictos ante estímulos emocionalmente relevantes (Etkin et al., 2006). La porción subgenual de la CCA también participa en la regulación emocional implícita, pues se activa ante la extinción del miedo (Diekhof et al., 2011). Los hallazgos anteriores señalan a la CCA como una de las estructuras clave en la regulación emocional (Helion et al., 2019).

La CPFdl forma parte de la red de control cognitivo, por lo cual se ha asociado con la flexibilidad, la memoria de trabajo y la inhibición (Niendam et al., 2012); recibe las señales de la CCAd, que indican la necesidad de control y se encarga de llevar a cabo los procesos de control cognitivo (Shenhav et al., 2013). La CPFdl también participa en la resolución de conflictos entre representaciones simultáneas una vez que son detectados por la CCA (Carter y Van Veen, 2007). Con respecto a la regulación emocional, se ha visto que en conjunto con la CPF dorsomedial (CPFdm) y la CCAr, la CPFdl lleva a cabo el monitoreo de conflictos ante tareas que implican la presencia simultánea de estímulos emocionalmente relevantes (Etkin et al., 2006). También se destaca el papel de la CPFdl en la reevaluación y otras formas de regulación emocional explícita y controlada (Braunstein et al., 2017; Buhle et al., 2014; Morawetz et al., 2017; Ochsner et al., 2002), por ejemplo, ante rostros con valencia negativa (Nelson et al., 2015). De esta manera, la CPFdl estaría implicada en el control *top-down* de la regulación emocional (Helion et al., 2019).

La CPFvl es otra región implicada en el control cognitivo, sobre todo cuando se trata de la realización de ajustes a los procesos cognitivos en función de cambios inesperados en la demanda de las tareas (Ryman et al., 2019); por ejemplo, en tareas que implican inhibición de respuestas, tanto reactiva como proactiva (Aron et al., 2014). La CPFvl contribuye a la regulación emocional, tanto al seleccionar la respuesta más apropiada para lograr los objetivos regulatorios, como en la evaluación del significado de los estímulos emocionales (Helion et al., 2019). Es por ello que, la CPFvl tiene un papel protagónico en la regulación emocional independientemente del tipo de estrategia de regulación y del efecto en la magnitud de la emoción (p. ej., regulación a la baja o a la alta) (Morawetz et al., 2017). Además, dicha región se activa en tareas que implican reevaluación, sin importar el tipo de estímulo que desencadena la emoción (p.ej. escenas o rostros) (Buhle et al., 2014; Nelson et al., 2015; Ochsner et al., 2002).

La CPF medial (CPFm) juega un papel crucial en diversos procesos cognitivos, tales como la atención, la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y la toma de decisiones. La CPFm se divide en dos subregiones: ventromedial (CPFvm) y dorsomedial (CPFdm) (Jobson et al., 2021). En cuanto a su papel en la regulación emocional, la CPFm forma parte del módulo a cargo del control cognitivo de las emociones, puesto que participa en estrategias de regulación explícitas y controladas como la reevaluación (Nelson et al., 2015), aunque también se activa ante tareas de regulación implícita (Braunstein et al., 2017). Se ha referido consistentemente la participación de la CPFvm, ante distintos tipos de regulación emocional que implican afecto negativo (p. ej. efecto placebo, extinción del miedo y reevaluación), por lo cual se posiciona como una estructura central para el control de las respuestas relacionadas con la aversión, independientemente del tipo de estrategia utilizada (Diekhof et al., 2011). Por su parte, la CPFdm se vincula a la modulación de la intensidad de las emociones en función de las necesidades de las metas en curso (Helion et al., 2019). Se ha reportado su participación en tareas de reevaluación (Buhle et al., 2014; Morawetz et al., 2017; Ochsner et al., 2002), así como en estrategias que implican, regulación tanto a partir de la reducción como del aumento en la magnitud de la emoción (Morawetz et al., 2017).

Otras regiones corticales también participan, de manera selectiva, en distintas estrategias de regulación emocional; por ejemplo, la reevaluación debido a su complejidad implica la integración de diversos procesos cognitivos y por ello, recluta una gran cantidad de regiones corticales (Morawetz et al., 2017). Además de las regiones prefrontales mencionadas previamente, diversos estudios han reportado la activación del lóbulo parietal y de los giros temporal superior y medial ante la reevaluación (Buhle et al., 2014; Diekhof et al., 2011). También se han visto implicadas la corteza motora suplementaria (CMs) y pre-suplementaria. Esta última también participa en las estrategias centradas en la atención, lo que sugiere que su activación media los procesos atencionales en diferentes tipos de regulación emocional. La participación de estructuras corticales y subcorticales también puede depender, no solo del tipo de estrategia, sino de la dirección de los cambios en la magnitud de la emoción; por ejemplo, se ha observado que la corteza parietal inferior (CPi) está involucrada cuando la regulación emocional implica una disminución de la intensidad de la emoción. Por otra parte, el estriado ventral se activa ante estrategias que buscan incrementar la magnitud de la emoción. En contraste, la corteza cingulada posterior participa en la regulación independientemente de la dirección de los cambios en la magnitud de la emoción (Morawetz et al., 2017).

### **Cambios Neurobiológicos y Cognitivos que Inciden en la Regulación Emocional de los Adolescentes**

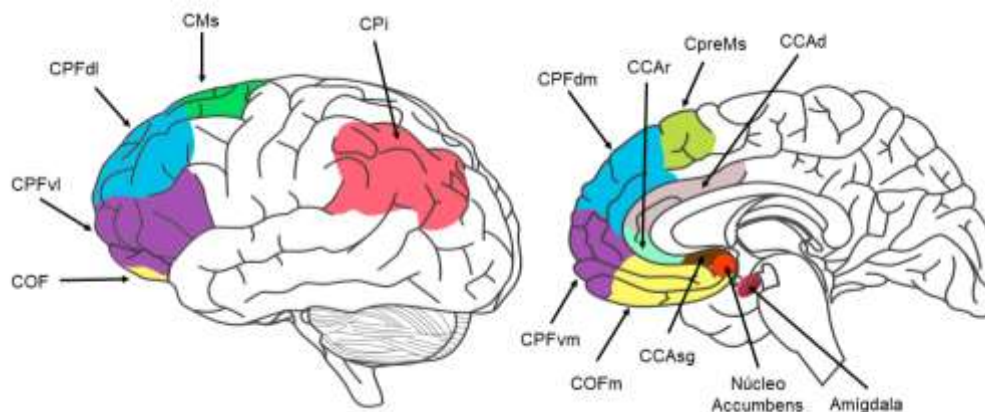
La capacidad para regular las emociones se modifica a lo largo de las etapas del desarrollo humano. Debido a su complejidad, la regulación emocional depende de cambios estructurales y funcionales en diversos circuitos cerebrales y de su integración funcional con el paso de la edad (Helion et al., 2019). Sin embargo, no hay que dejar de lado la influencia del medio ambiente social que, en conjunto con los factores neurobiológicos, determinan el desarrollo y la efectividad de la regulación emocional (Silvers et al., 2012; Stifter y Augustine, 2019).

Durante la adolescencia aumenta el volumen de la materia blanca por la mielinización, sobre todo en la corteza prefrontal (Giedd, 2008; Giedd et al., 1999; Spear, 2013); disminuye el

volumen de la materia gris, por la poda sináptica, en regiones de asociación de orden superior (Gogtay et al., 2004) y ocurre una reorganización del sistema dopaminérgico caracterizada por cambios en la densidad de receptores en las vías mesolímbica y mesocortical (Spear, 2000). Adicionalmente, las hormonas sexuales también tienen un efecto en estructuras del sistema límbico, generando una sobre-activación (Casey et al., 2008), además de una proliferación de receptores de oxitocina (Steinberg, 2008).

## Figura 1

*Estructuras cerebrales implicadas en la regulación emocional y en la inhibición*



*Nota.* CPFdl, corteza prefrontal dorsolateral; CPFvl, corteza prefrontal ventrolateral; COF, corteza orbitofrontal; CMs, corteza motora suplementaria; CPI, corteza parietal inferior; CPFdm, corteza prefrontal dorsomedial; CpreMs, corteza premotora suplementaria; CPFvm, corteza prefrontal ventromedial; COFm, corteza orbitofrontal medial; CCAr corteza cingulada anterior dorsal; CCAr corteza cingulada anterior rostral; CCAsg corteza cingulada anterior subgenual. Figura hemisferio izquierdo: Licencia Creative Commons por autor desconocido y editada por Amousey bajo BY CC 1 0 url <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=126862067>. Figura del corte sagital del cerebro: licencia Creative Commons por Karamihalev bajo BY CC 4 0 doi <https://doi.org/10.020161/zenodo.4312476>. Ambas figuras fueron modificadas por los autores.

Los cambios cerebrales propios del neurodesarrollo típico de los adolescentes generan un desbalance entre los sistemas emocionales *bottom-up* y de control cognitivo *top-down* (Giedd, 2008; Steinberg, 2005). Debido a que la corteza prefrontal se encuentra relativamente inmadura, el control de los sistemas *top-down* es insuficiente ante la reactividad emocional de un sistema límbico que, por un lado, se encuentra maduro y, por otro lado, está sobre-activado por las hormonas sexuales (Casey et al., 2008; Llamas-Alonso et al., 2019). De esta forma, la convergencia de cambios cognitivos, afectivos, en conjunto con diversos aspectos ambientales, da como resultado comportamientos y experiencias afectivas que pueden ser difíciles de manejar para los adolescentes (Steinberg, 2005).

Las conductas de riesgo, la susceptibilidad a trastornos del estado de ánimo y el abuso de sustancias durante la adolescencia se han abordado desde múltiples perspectivas neurocognitivas donde la interacción entre estos sistemas *bottom-up* y *top-down* está alterada. El modelo dual es el más popular, aunque hace una sobresimplificación de la totalidad de los



factores que influyen en la conducta adolescente y se limita a atribuirlo a una falta de maduración prefrontal que provee mecanismos de control insuficientes ante la reactividad emocional (Casey et al., 2016; Chein et al., 2011; Cohen y Casey, 2014; Shulman et al., 2016). Otros autores atribuyen los fallos en la conducta a procesos cognitivos alterados (Shulman et al., 2016).

Otro modelo explicativo es el de desbalance (Luna y Wright, 2016; Steinberg, 2008). Este modelo enfatiza una explicación basada en circuitos de las formas complejas y no lineales en las que la reactividad y la regulación de las emociones cambian con la edad. De acuerdo con este modelo, las conductas emergentes características de la adolescencia coinciden con una serie de cambios de desarrollo entre múltiples sistemas con un ajuste-fino regional de conexiones dentro de circuitos límbicos subcorticales, después entre prefrontales corticales y límbicos y posteriormente, en circuitos corticocorticales (Casey et al., 2016). La falta de maduración inicial en circuitos subcortico-subcorticales (i.e., amígdala-estriado ventral) durante la adolescencia sugiere que el resultado es un sistema guiado para emitir respuestas impulsivas hacia pistas emocionales sin importar la valencia positiva o negativa, o de si representa recompensa o castigo (Dreyfuss et al., 2014; Hare et al., 2008; Heller y Casey, 2016; Somerville et al., 2011). Por otra parte, los circuitos subcortico-corticales (i.e., amígdala-corteza prefrontal) guían el comportamiento en presencia de señales conflictivas de recompensa y castigo para la toma de decisiones, por lo que la falta de maduración de estas conexiones durante la adolescencia puede representar elecciones conductuales inadecuadas (Burgos-Robles et al., 2017; Heller y Casey, 2016). La mejora eventual sobre la regulación conductual y emocional proviene de la modulación cortico-subcortical de la CPFvm sobre la amígdala, conexión que sigue refinándose en la adolescencia tardía (Dincheva et al., 2015; Fareri et al., 2015; Gee et al., 2013). Finalmente, el nivel ideal de regulación emocional que se alcanza en la adultez, surge por la aplicación adecuada de estrategias de reevaluación o cambio cognitivo. En cuanto a las bases neurobiológicas, aunque la CPFvm se ha señalado como principal protagonista, existe evidencia que postula que también la CPFi tiene un papel crucial en dichas estrategias de regulación (Denny et al., 2015; Dreyfuss et al., 2014; Somerville et al., 2011). Particularmente, a nivel del desarrollo, la conectividad cortico-cortical entre la CPFvm y la CPFi que madura hasta la adultez temprana, es de gran relevancia (Silvers et al., 2017).

En conclusión, ambos modelos concuerdan en la existencia de un desequilibrio que afecta la regulación emocional, pero difieren en la descripción de sus causas. El modelo dual postula que el desequilibrio surge de una mayor influencia de las áreas límbicas subcorticales, principalmente dirigidas por el influjo hormonal, junto con una falta de maduración de la corteza prefrontal, que no puede ejercer un control adecuado. Por otro lado, la postura del desbalance describe una inmadurez específica en los circuitos/conexiones subcortico-subcorticales, subcortico-corticales y cortico-corticales, lo que resulta en el desequilibrio.

En el desequilibrio que subyace a las dificultades en la regulación emocional durante la adolescencia, la amígdala, la CCA y la corteza orbitofrontal (COF), juegan un papel relevante. Se ha reportado que el volumen de la amígdala correlaciona de manera positiva con las dificultades en la regulación emocional durante dicha etapa. También se ha descrito que la reducción de la asimetría bilateral de la CCA en la región paralímbica, se asocia a una mayor duración de las conductas agresivas, sobre todo en varones. En otras palabras, una mejor capacidad de regulación emocional se asocia a una asimetría en la CCA, a favor del hemisferio izquierdo. Por su parte, la menor asimetría en la COF también se vincula a las dificultades en la

regulación emocional. Mas aún, el incremento en el volumen de la amígdala, así como la falta de asimetría hemisférica en áreas frontales (CCA y COF) podría reflejar un retraso en el proceso normal de maduración (Whittle et al., 2008).

Adicionalmente a la falta de maduración de la CPF durante la adolescencia (Casey y Jones, 2010), el sistema dopaminérgico mesolímbico cortical aún se encuentra en desarrollo. Dicho sistema es uno de los más importantes involucrados en la conducta motivada, la recompensa y, en general, en los procesos *bottom-up*; además, esta ventana prolongada de maduración incrementa la vulnerabilidad a alteraciones del circuito debido a factores ambientales (Reynolds y Flores, 2021). Durante la adolescencia, hay un desbalance a nivel de densidad de los receptores dopaminérgicos D1 y D2, lo cual implica un riesgo importante para el desarrollo de trastornos psicopatológicos (síndromes psicóticos y adicciones). Los receptores D1 responden al incremento de los niveles de dopamina vinculados a respuestas de aproximación hacia estímulos incentivo, mientras que los D2 responden al decremento dopaminérgico liderando señales de respuesta de evitación al estímulo (Damian et al., 2022). La densidad de D1 en la CPF durante la adolescencia es mayor que D2, lo cual se invierte en la adultez. Así, los receptores D1 comprometen el control y los sistemas de análisis, llevando a una evaluación débil del estímulo negativo; además, ayudan a activar respuestas impulsivas y extremas relacionadas al estímulo incentivo como puede ser el consumo de drogas. Esta propuesta resalta la importancia de estudiar la densidad de los distintos receptores más que los niveles de dopamina en sí (Berridge y Devilbiss, 2011; Damian et al., 2022).

Por otra parte, se ha referido que la integridad de la función de control *top-down* sobre los procesos *bottom-up* depende de la interacción entre neuronas glutamatérgicas y GABAérgicas locales y su modulación a partir de entradas de larga distancia. Estas interacciones generan una relación proporcional de excitación e inhibición en cada proyección prefrontal que se refina durante la adolescencia. Caballero et al. (2021) en su revisión describen que esta maduración se logra a través de un incremento de la función inhibitoria GABAérgica prefrontal.

### **Evaluación de la Regulación Emocional de los Adolescentes**

La evaluación de la regulación emocional se puede realizar con diversos métodos, tales como la observación, los cuestionarios de autoinforme, cuestionarios para un informante, las tareas de laboratorio y las medidas fisiológicas como la respuesta galvánica de la piel, la frecuencia cardiaca o el registro de la actividad eléctrica cerebral (Adrian et al., 2011).

Los métodos basados en el autorreporte permiten estudiar tanto las estrategias de regulación emocional como sus efectos en el comportamiento y el bienestar de los individuos en su vida cotidiana. Así, Gullone et al. (2010) realizaron un estudio longitudinal donde aplicaron el Cuestionario de Regulación Emocional para Niños y Adolescentes (ERQ-CA, por sus siglas en inglés) a niños y adolescentes de entre 9 y 15 años en tres momentos distintos. Se centraron en evaluar dos tipos de regulación emocional: supresión y reevaluación. Encontraron que la supresión era usada por los participantes más jóvenes y que, en la medida en la que iban creciendo, usaban menos dicha estrategia. Los hombres reportaron mayor uso de la supresión en comparación con las mujeres. En cuanto a la reevaluación, contrario a lo esperado, encontraron que los participantes mayores usaban poco dicha estrategia, incluso menos que los más jóvenes. Estos métodos de autorreporte presentan el problema de que son medidas poco objetivas debido a que dependen del criterio del evaluador.

Es posible evaluar de manera más objetiva la capacidad de inhibir y regular una respuesta por medio la aplicación de tareas específicas en el laboratorio y evaluar los efectos de los estímulos emocionales sobre otros procesos cognitivos como la atención y la inhibición (Littman y Takács, 2017) (ver Figuras 2 y 3, para ejemplos de una tarea Stop-Signal y Go-NoGo emocionales, respectivamente). Así, Tottenham et al. (2011) por medio de una tarea Go/NoGo con expresiones faciales emocionales estudiaron las diferencias en la inhibición entre niños, adolescentes y adultos. El contenido emocional interfirió con el control inhibitorio, pero este efecto fue mayor en los niños que en los adolescentes y los adultos. El control cognitivo fue mejor a mayor la edad, pero los adolescentes tuvieron más errores de inhibición ante estímulos emocionales que los adultos. Cohen-Gilbert y Thomas (2013) utilizaron las imágenes emocionales del Sistema de Imágenes Afectivas (IAPS) en una tarea Go/NoGo en participantes niños, adolescentes y adultos jóvenes (11 a 25 años). Encontraron tiempos de reacción más largos para los ensayos con imágenes de valencia negativa en todos los grupos de edad. Además, observaron que los participantes dentro de la etapa temprana de la adolescencia (13 y 14 años) mostraron mayores errores de inhibición que los niños (11-12), los adolescentes mayores (15-16 y 18-19) y los adultos (20-25) ante las imágenes de valencia negativa que ante imágenes positivas y neutrales. De esta manera, observamos que los estímulos emocionales muestran distintos efectos en función de la etapa del desarrollo.

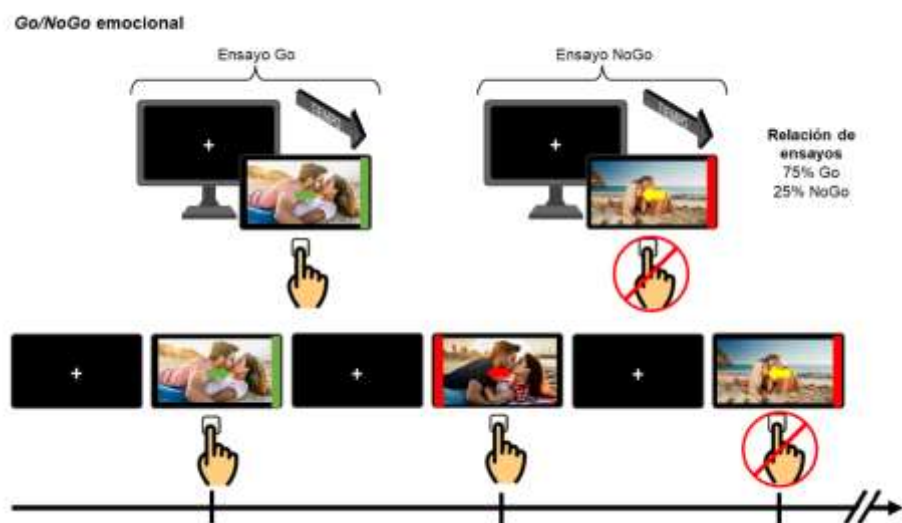
Al estudiar la activación de estructuras cerebrales por medio de imágenes por resonancia magnética funcional (IRMf), en términos generales, se ha encontrado que los adolescentes muestran menor activación en la CPF que los adultos mientras realizan diversas tareas de inhibición (Jaeger, 2013). Rubia et al. (2006) a través de las tareas Go/NoGo (ver Figura 2), de Simon y de alternancia evaluaron la inhibición de respuestas, la resistencia a interferencias distractoras y la resistencia a interferencias proactivas, respectivamente. A nivel conductual, los adolescentes obtuvieron un desempeño más bajo que los adultos en las tres tareas. Esto se vio reflejado en mayor número de errores de inhibición y tiempos de reacción más breves. En cuanto a la activación cerebral en la tarea Go/NoGo, observaron que los adultos mostraron mayor activación en la CPM y COFm derecha, la CCA y el núcleo caudado. Adicionalmente, encontraron una correlación positiva entre la edad y la activación de la CPF inferior (CPF<sub>i</sub>) derecha y la CCA. Esto sugiere un desarrollo progresivo en algunas de las áreas mencionadas durante la realización de la tarea, aunque se requiere de un estudio longitudinal para probarlo. En otro estudio, Rubia et al. (2007) utilizaron una tarea *Stop-signal*. Los adolescentes mostraron menor activación en la CPF<sub>i</sub> derecha ante las inhibiciones correctas y del CCA ante los errores de inhibición en comparación con los adultos. También se observó una correlación entre la edad y la activación de la CPF<sub>i</sub> derecha, el tálamo, el núcleo caudado y el cerebelo.

Por medio de este tipo de tareas mencionadas previamente, es posible evaluar los efectos de los estímulos emocionales sobre otros procesos cognitivos como la atención y la inhibición (Littman y Takács, 2017). Los efectos de los estímulos emocionales varían dependiendo del tipo de tarea. Algunas tareas implican un proceso de regulación emocional implícita, ya que los participantes no tienen la meta consciente de regular la emoción que generan los estímulos, sino simplemente seguir las instrucciones y emitir respuestas enfocadas a la información no emocional, mientras que, las tareas que implican una regulación explícita, requieren que el participante haga una discriminación consciente de información emocional en función de tener un buen desempeño conductual (escenas o rostros).

Hare et al. (2008) emplearon una tarea *Go/NoGo* emocional explícita para investigar los sustratos biológicos de las diferencias en la regulación emocional entre niños, adolescentes y adultos. Encontraron que los adolescentes exhibían una mayor activación en la amígdala en comparación con los niños y los adultos, especialmente ante expresiones faciales de alegría y miedo. También observaron que los adolescentes respondieron de manera más lenta ante las expresiones de miedo, lo cual sugiere que podrían tener mayores dificultades para la regulación de la interferencia provocada por este estímulo emocional. Los investigadores postularon que las dificultades que presentaron los adolescentes en la regulación de la conducta en situaciones emocionales podrían explicarse en términos de la reactividad aumentada del sistema de procesamiento emocional ante un mecanismo prefrontal de regulación *top-down* inmaduro.

## Figura 2

### *Paradigma Go/NoGo emocional*



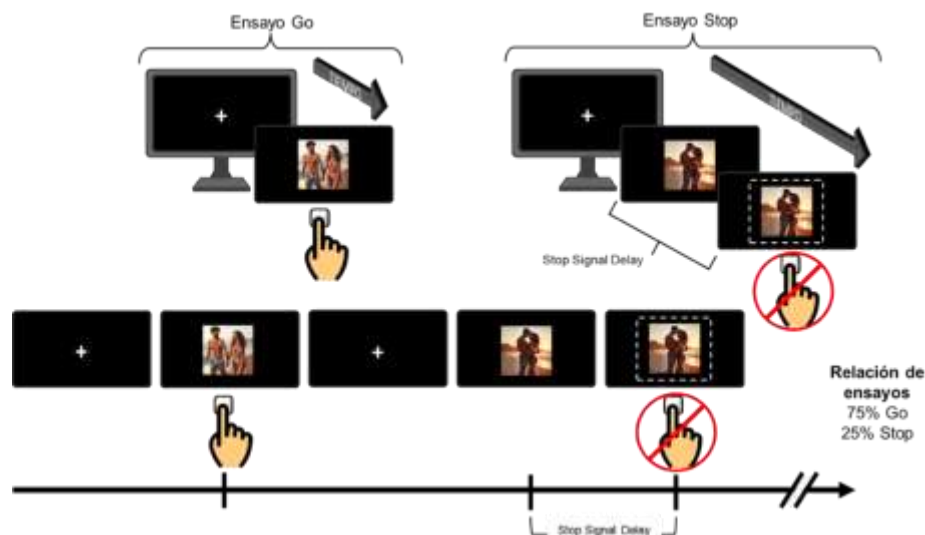
*Nota.* Los ensayos Go requieren que el participante presione la tecla al cumplirse dos condiciones: 1) la flecha del centro de la pantalla y la barra lateral coinciden en color y; 2) la flecha apunta a la barra. Al no cumplirse una o ambas condiciones, se trata de un ensayo NoGo, para el cual el participante no debe presionar la tecla. Las imágenes que aparecen en cada ensayo representan un contexto emocional placentero. Las imágenes fueron generadas mediante la inteligencia artificial Adobe Firefly.

Ramos-Loyo et al. (2017) investigaron la influencia del contexto emocional en la capacidad de adolescentes y adultos de inhibir respuestas predominantes utilizando una tarea *Go/NoGo* implícita evaluando los potenciales relacionados con eventos (PREs) (ver Cuadro 1). En cuanto a los PREs, los investigadores observaron que ante la presencia de contexto displacentero se incrementó la amplitud del componente N2, así como la latencia de los componentes N2 y P3 para ambos tipos de respuestas (*Go* y *NoGo*). Estos cambios en los componentes constituyen un indicador de la dificultad de la tarea, en la cual los adolescentes debían realizar dos tipos de inhibición: por una parte, tenían que realizar una inhibición de la interferencia que genera el contexto emocional y, por otra parte, la inhibición de la respuesta

como tal. Con relación a las variables conductuales, no se encontraron diferencias en las respuestas correctas entre las condiciones emocionales. No obstante, al comparar estos resultados con los de un estudio similar realizado en adultos (Ramos-Loyo et al., 2016), se encontró que los adolescentes alcanzaron 64% de inhibiciones correctas, mientras que los adultos alcanzaron 84%. Estos datos reflejan la mayor dificultad que presentan los adolescentes para regular la interferencia que implica un contexto emocional. Más aun, se observaron diferencias entre aquellos adolescentes que reportaban tener una alta regulación de su conducta (AR) y sus emociones en entornos cotidianos y aquéllos que reportaban una baja regulación (BR), evaluada a través del Inventario de Evaluación del Comportamiento de Funciones Ejecutivas (Roth et al., 2000). Los BR tuvieron una menor capacidad inhibitoria y más respuestas impulsivas y una tendencia a mostrar mayor amplitud del P3 ante la presencia de contextos emocionales que los AR (Hernández-Villalobos, 2013). Los componentes N2 y P3 relacionados con el proceso inhibitorio en esta misma tarea, mostraron tener una relación con el rendimiento académico en jóvenes universitarios en otro estudio del mismo grupo de investigación. Un mayor rendimiento académico correlacionó con una mayor amplitud del N2NoGo ante el contexto placentero, indicador de un procesamiento más eficiente (Reynoso-Orozco, 2016).

### Figura 3

#### *Paradigma Stop-signal emocional*



*Nota.* Los ensayos Go implican que el participante presione la tecla ante la aparición del estímulo Go, en este caso, la imagen. Los ensayos Stop inician con la aparición del estímulo Go, pero, después de un tiempo (Stop Signal Delay), aparece una señal que indica que la respuesta debe ser cancelada; en este caso, la señal es el marco de línea punteada. Las imágenes que aparecen en cada ensayo representan un contexto emocional placentero. Las imágenes fueron generadas mediante la inteligencia artificial Copilot.

En otra investigación, este mismo grupo de investigadores estudiaron los cambios en la activación cerebral en dicha tarea Go/NoGo emocional en adolescentes y adultos. De manera general, encontraron que el grupo de adolescentes reclutó más áreas cerebrales en comparación con el grupo de adultos en las distintas condiciones emocionales. El grupo de adolescentes

mostró una activación cerebral más extendida en áreas prefrontales y una mayor activación paralímbica durante los ensayos *NoGo* particularmente ante los contextos emocionales. Dicho hallazgo sugiere mayor alertamiento emocional, característico de la adolescencia, que involucra regiones como la ínsula y la CCA, así como una menor capacidad para regular dicho alertamiento en esta etapa del desarrollo. Esta dificultad en la regulación emocional podría deberse a una menor especialización de las regiones involucradas (Silva-Contreras, 2019).

Otra perspectiva es evaluar los efectos de experiencias emocionales motivadas por pérdidas o ganancias económicas sobre la toma de decisiones en los adolescentes. A través de una tarea de apuesta con reforzamiento probabilístico favorable y desfavorable, se encontró que un grupo de adolescentes mostró mayor amplitud del componente negatividad relacionada a la retroalimentación (FRN, por sus siglas en inglés) en comparación con un grupo de adultos. Esto sugiere que los primeros son más sensibles a la retroalimentación emocional ante las pérdidas monetarias (Martínez-Velázquez et al., 2015) (ver Cuadro 1).

Un motivador emocional altamente relevante en la adolescencia es la presencia de los pares. En este sentido, en otro estudio se evaluaron los efectos de la cooperación y la competencia en adolescentes durante la ejecución de una tarea *Go/NoGo*. A nivel conductual, se observó que los adolescentes mostraron una mejor capacidad inhibitoria en cuando cooperaban con sus pares que cuando realizaban la tarea de manera individual o cuando competían con sus pares. Además, se encontró una mayor amplitud del P3NoGo en la condición de competencia, lo cual sugiere que se requirió un mayor esfuerzo cognitivo para detener sus respuestas. Estos hallazgos implican que la capacidad de regulación de la conducta en adolescentes está significativamente influenciada por la interacción con sus pares, y que esta influencia puede mejorar o entorpecer su desempeño dependiendo de si la situación social implica colaborar o competir con un par (Vázquez-Moreno, 2018).

Continuando con la influencia de los pares en la adolescencia, estudios se han llevado a cabo para observar la susceptibilidad de los adolescentes a la influencia de sus pares en la toma de decisiones riesgosas durante pruebas virtuales de manejo automovilístico. De manera consistente, se encuentra que la presencia de pares adolescentes incrementa la toma de decisiones riesgosas en contextos de videojuegos (Gardner y Steinberg, 2005) y simuladores de manejo (Bingham et al., 2016; Chein et al., 2011). A nivel neurobiológico, se observa que la presencia de pares en la simulación de manejo incrementa la activación del estriado ventral, vinculado al sistema de recompensa, así como de la COF, relacionada con la evaluación de la misma. Además, dicha activación predice una mayor toma de riesgos (Chein et al., 2011).

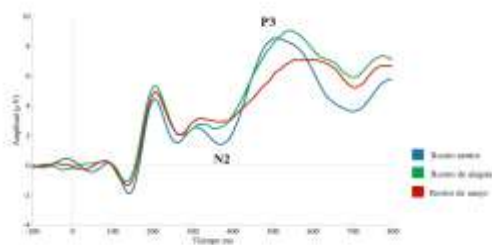
Una característica distintiva de los adolescentes es la impulsividad, la cual se define como la predisposición a realizar conductas de forma rápida y no planeada, dándole poca importancia a las potenciales consecuencias negativas (Moeller et al., 2001). Vázquez-Moreno et al. (2019) realizó un estudio que evaluó el efecto del retraso de la respuesta sobre el control inhibitorio utilizando una tarea *Go/NoGo* ante contextos emocionales, comparando adolescentes impulsivos vs no impulsivos. Se encontró que el permitir un retraso en la respuesta mejoró el desempeño inhibitorio en todos los adolescentes. Sin embargo, dicho beneficio fue menor en los adolescentes impulsivos ante la presencia del contexto emocional placentero. Además de forma

### Cuadro 1. Potenciales relacionados con eventos relacionados con el control inhibitorio y la recompensa.

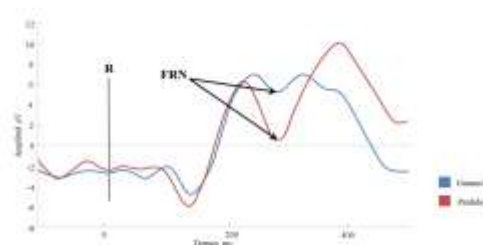
Los potenciales relacionados con eventos (PREs) son una técnica que deriva del registro de la actividad eléctrica cerebral (EEG). Se utilizan para estudiar la actividad cerebral durante la presentación de estímulos específicos. Los componentes de los PREs son deflexiones de voltaje se definen por su polaridad, amplitud, latencia y distribución en el cuero cabelludo. La amplitud refleja la suma de los potenciales postsinápticos sincronizados durante procesos sensoriales o cognitivos específicos, y su latencia indica el tiempo requerido para procesar el estímulo (Buzsáki, 2006; Sanei y Chambers, 2007; Tatum et al., 2008).

Dos componentes de los PREs asociados al control inhibitorio son el N2 y el P3. El N2 es una onda con polaridad negativa que aparece entre 200 y 400 ms después del inicio del estímulo, con mayor amplitud en regiones frontocentrales. El N2 refleja respuestas a la novedad, al control atencional, la resolución de conflictos y la inhibición y se relaciona con el funcionamiento de la corteza frontal (Bokura et al., 2001; Folstein y Van Petten, 2008; Zhang y Lu, 2012). El P3, por su parte es una onda con polaridad positiva que aparece entre los 300 y 600 ms después del inicio del estímulo y está relacionada con procesos de atención, actualización de la memoria (Polich, 2007), inhibición cognitiva y motora, así como con la evaluación del desempeño inhibitorio (Bokura et al., 2001; Bruin et al., 2001; Smith et al., 2008).

Otro componente relevante para la evaluación del sistema de recompensa en adolescentes es la Negatividad Relacionada con la Retroalimentación (FRN). El FRN es una deflexión negativa que aparece alrededor de los 250 ms en las regiones frontocentrales, después de que el participante responde, aparece una retroalimentación de ganancia o pérdida relacionada con la opción elegida en una tarea de apuestas. La amplitud de FRN se ha relacionado con el impacto motivacional de los estímulos, así como la evaluación cognitiva y emocional de la recompensa o el castigo (Gehring y Willoughby, 2002; Nieuwenhuis, 2004).



Ejemplo de PREs obtenidos ante la inhibición de expresiones neutras, de alegría y enojo.



Ejemplo de FRN obtenido ante pérdidas y ganancias monetarias en adolescentes, a partir de la respuesta (R).

general, ellos mostraron mayores amplitudes del P3NoGo y menores latencias del N2NoGo, lo cual se vincula a una menor eficiencia del control inhibitorio.

La regulación emocional es más eficiente en la medida en la que los adolescentes crecen, es decir, el desbalance entre los mecanismos *bottom-up* y *top-down* disminuye con la edad. Estudios donde se utiliza el autoinforme encuentran que la edad influye en el uso de estrategias de reevaluación para regular las emociones (Silvers et al., 2012). Este proceso madurativo se ha asociado con la testosterona, la cual se encuentra en niveles altos, tanto en hombres como en

mujeres que tienen mayor maduración puberal. Tyborowska et al. (2016) para investigar la vinculación de la regulación y el control de la conducta con la maduración puberal por medio de la IRMf. Los investigadores refirieron que en promedio los adolescentes con maduración más avanzada mostraron mayor activación en la CPFdl ante la realización de una tarea de aproximación y evitación hacia expresiones faciales emocionales de manera congruente con lo observado en adultos. Por otra parte, los adolescentes de la misma edad, pero con menor maduración puberal y menores niveles de testosterona, mostraron mayor activación en el núcleo pulvinar del tálamo y la amígdala. Estos hallazgos demuestran cómo el control ejecutivo de las conductas bajo condiciones emocionales, deja de estar bajo la mediación de estructuras subcorticales para pasar a ser regulada por las regiones prefrontales. Así, la disminución en el desbalance entre la reactividad emocional, el control conductual y cognitivo con la edad se relaciona parcialmente, con cambios en la relación entre los sistemas *bottom-up* y *top-down*, al incrementar la regulación del último sobre el primero y de esta manera, favoreciendo la maduración de la regulación emocional (Cerliani et al., 2015; Pfeifer y Allen, 2012; Rubia et al., 2013).

Un aspecto muy poco estudiado a pesar de su gran relevancia en la adolescencia, son las diferencias sexuales en las funciones ejecutivas y la regulación emocional. Además de la influencia prenatal en la configuración cerebral, las hormonas sexuales juegan un papel fundamental en el desbalance *bottom-up* y *top-down* durante esta etapa. Existen diferencias sexuales en las trayectorias de desarrollo específicas en la reorganización cortical que se relacionan con la eficiencia en procesos cognitivos como la atención y la memoria de trabajo (Blakemore et al., 2010; Blakemore y Choudhury, 2006). Taylor et al. (2020) encontraron diferencias sexuales en la trayectoria de desarrollo de la dinámica oscilatoria neuronal del ritmo theta en la red frontoparietal durante tareas de razonamiento abstracto en adolescentes, sin que hubiera diferencias en el desempeño conductual. Los autores interpretan sus hallazgos como que los circuitos neuronales involucrados en el razonamiento abstracto y la inteligencia fluida se desarrollan a diferentes ritmos en los varones y mujeres, siendo más eficientes localmente en las últimas en este periodo crítico de desarrollo.

Es importante considerar que la realización de una tarea particular no involucra únicamente la activación de estructuras cerebrales independientes, lo cual se puede observar a través de estudios de IRMf o de cambios rápidos en la actividad cerebral observables en los PREs, sino también cambios en la organización de circuitos cerebrales especializados en el procesamiento de dicha tarea. Este tipo de cambios en la relación funcional entre las áreas relacionadas con la ejecución de una tarea particular se pueden evaluar a través de la conectividad funcional. Así, se ha observado que los adolescentes en comparación con los niños, muestran un incremento en la complejidad de las redes neurales, de manera más prominente en las regiones frontocentrales. Además, disminuyen las conexiones locales de corto alcance mientras que las conexiones distribuidas de largo alcance se fortalecen (van Noordt et al., 2021). Estos cambios en los patrones de conectividad pueden favorecer el desarrollo de las funciones ejecutivas. Sin embargo, los adolescentes presentan menor conectividad funcional entre las regiones frontales y el resto del cerebro incluyendo regiones corticales y subcorticales que los adultos durante la realización de tareas de inhibición, lo cual indica que estos procesos cognitivos aún están madurando en esta etapa (Hwang et al., 2010). Los cambios en la conectividad funcional están relacionados parcialmente con la conectividad anatómica. Por ejemplo, un



incremento en el volumen de la amígdala con la edad durante la adolescencia predice una disminución en la conectividad funcional entre las redes subcorticales y las de control cognitivo en reposo (Taylor et al., 2022). De manera similar, Stevens et al. (2007) también encontraron que los adolescentes exhiben diferencias en el reclutamiento de las redes neurales y la conectividad durante la inhibición de la respuesta preferente en comparación con los adultos. La disminución de la integración de las regiones cerebrales implicadas en el control inhibitorio, principalmente prefrontales, impactó a nivel conductual.

### **Conclusiones**

La evidencia indica que en los adolescentes existe un desbalance entre los mecanismos “*bottom-up*” y “*top-down*” que dificulta la regulación de su conducta y de sus emociones, lo que en muchas ocasiones deriva en las conductas de riesgo y las alteraciones emocionales que se observan en ellos. Este desbalance puede estar modulado por distintos factores como la genética, la edad, el sexo, las características de personalidad, las comorbilidades psiquiátricas, la actividad física, el entorno social y las experiencias de vida que dan origen a las diferencias individuales en la capacidad para regular la conducta y las emociones. En relación con la edad, la adolescencia abarca un largo periodo de la vida, desde los 11 hasta los 21 años, por lo que es relevante considerar la dinámica de los cambios psicobiológicos madurativos en las distintas etapas, temprana, media y tardía.

Es importante señalar que, aun cuando la comprensión de las bases cognitivas y neurobiológicas de los problemas de regulación emocional en los adolescentes es de gran relevancia por sus implicaciones en su vida cotidiana y su desarrollo psicosocial, la evidencia científica al respecto es muy escasa todavía. Algunos trabajos se centran en problemas como la depresión, abuso de sustancias adictivas, intento suicida, entre otras alteraciones. Sin embargo, una mayor comprensión de las bases cognitivas y neurobiológicas de la regulación emocional, así como su interacción con factores psicológicos y sociales permitirá desarrollar estrategias de prevención de conductas de riesgo y alteraciones emocionales en los adolescentes, promoviendo su salud física, mental y emocional.

### Referencias

- Adrian, M., Zeman, J., y Veits, G. (2011). Methodological implications of the affect revolution: A 35-year review of emotion regulation assessment in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(2), 171-197. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.03.009>
- Aron, A. R., Robbins, T. W., y Poldrack, R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(4), 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.003>
- Bari, A., y Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology*, 108, 44-79. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.06.005>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65-94. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>
- Bingham, C. R., Simons-Morton, B. G., Pradhan, A. K., Li, K., Almani, F., Falk, E. B., Shope, J. T., Buckley, L., Ouimet, M. C., y Albert, P. S. (2016). Peer passenger norms and pressure: Experimental effects on simulated driving among teenage males. *Transportation Research. Part F, Traffic Psychology and Behaviour*, 41(A), 124-137. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.06.007>
- Berridge, C. W., y Devilbiss, D. M. (2011). Psychostimulants as cognitive enhancers: The prefrontal cortex, catecholamines, and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 69(12), e101-e111. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.06.023>
- Blakemore, S. J., Burnett, S., y Dahl, R. E. (2010). The role of puberty in the developing adolescent brain. *Human Brain Mapping*, 31(6), 926-933. <https://doi.org/10.1002/hbm.21052>
- Blakemore, S. J., y Choudhury, S. (2006). Brain development during puberty: State of the science. *Developmental Science*, 9(1), 11-14. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00456.x>
- Braunstein, L. M., Gross, J. J., y Ochsner, K. N. (2017). Explicit and implicit emotion regulation: A multi-level framework. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(10), 1545-1557. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx096>
- Buhle, J. T., Silvers, J. A., Wage, T. D., Lopez, R., Onyemekwu, C., Kober, H., Webe, J., y Ochsner, K. N. (2014). Cognitive reappraisal of emotion: A meta-analysis of human neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, 24(11), 2981-2990. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht154>
- Burgos-Robles, A., Kimchi, E. Y., Izadmehr, E. M., Porzenheim, M. J., Ramos-Guasp, W. A., Nieh, E. H., Felix-Ortiz, A. C., Namburi, P., Leppla, C. A., Presbrey, K. N., Anandalingam, K. K., Pagan-Rivera, P. A., Anahtar, M., Beyeler, A., y Tye, K. M. (2017). Amygdala inputs to prefrontal cortex guide behavior amid conflicting cues of reward and punishment. *Nature Neuroscience*, 20(6), 824-835. <https://doi.org/10.1038/nn.4553>
- Caballero, A., Orozco, A., y Tseng, K. Y. (2021). Developmental regulation of excitatory-inhibitory synaptic balance in the prefrontal cortex during adolescence. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 118, 60-63. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2021.02.008>

- Carter, C. S., y Van Veen, V. (2007). Anterior cingulate cortex and conflict detection: An update of theory and data. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 7(4), 367-379. <https://doi.org/10.3758/CABN.7.4.367>
- Casey, B. J., Galván, A., y Somerville, L. H. (2016). Beyond simple models of adolescence to an integrated circuit-based account: A commentary. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 17, 128. <https://doi.org/10.1016%2Fj.dcn.2015.12.006>
- Casey, B., Getz, S., y Galvan, A. (2008). The adolescent brain. *Developmental Review*, 28(1), 62–77. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.08.003>
- Casey, B. J., Heller, A. S., Gee, D. G., y Cohen, A. O. (2019). Development of the emotional brain. *Neuroscience Letters*, 693, 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.11.055>
- Casey, B. J., y Jones, R. M. (2010). Neurobiology of the adolescent brain and behavior: Implications for substance use disorders. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(12), 1189-1201. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2010.08.017>
- Cerliani, L., Mennes, M., Thomas, R. M., Di Martino, A., Thioux, M., y Keysers, C. (2015). Increased functional connectivity between subcortical and cortical resting-state networks in autism spectrum disorder. *JAMA Psychiatry*, 72(8), 767-777. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2015.0101>
- Chein, J., Albert, D., O'Brien, L., Uckert, K., y Steinberg, L. (2011). Peers increase adolescent risk taking by enhancing activity in the brain's reward circuitry. *Developmental Psychology*, 14(2), F1–F10. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.01035.x>
- Cohen, A. O., y Casey, B. J. (2014). Rewiring juvenile justice: The intersection of developmental neuroscience and legal policy. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(2), 63-65. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.11.002>
- Cohen-Gilbert, J. E., y Thomas, K. M. (2013). Inhibitory control during emotional distraction across adolescence and early adulthood. *Child Development*, 84(6), 1954-1966. <https://doi.org/10.1111/cdev.12085>
- Damian, S. I., Şchiopu, C., Dobrin, R., Boloş, A., y Ştefănescu, C. (2022). Neuro-bio-chemical balance within deviant delinquent behaviors in adolescents. *Bulletin of Integrative Psychiatry*, 92(1), 83-94. <https://doi.org/10.36219/BPI.2022.1.07>
- Denny, B. T., Inhoff, M. C., Zerubavel, N., Davachi, L., y Ochsner, K. N. (2015). Getting over it: Long-lasting effects of emotion regulation on amygdala response. *Psychological Science*, 26(9), 1377-1388. <https://doi.org/10.1177/0956797615578863>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diekhof, E. K., Geier, K., Falkai, P., y Gruber, O. (2011). Fear is only as deep as the mind allows. A coordinate-based meta-analysis of neuroimaging studies on the regulation of negative affect. *NeuroImage*, 58(1), 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.073>
- Dillon, D. G., y Pizzagalli, D. A. (2007). Inhibition of action, thought, and emotion: a selective neurobiological review. *Applied and Preventive Psychology*, 12(3), 99-114. <https://doi.org/10.1016/j.appsy.2007.09.004>
- Dincheva, I., Drysdale, A. T., Hartley, C. A., Johnson, D. C., Jing, D., King, E. C., Ra, S., Gray, J. M., Yang, R., DeGrucio, A. M., Huang, C., Cravatt, B. F., Glatt, C. E., Hill, M. N., Casey, B. J., y Lee, F. S. (2015). FAAH genetic variation enhances fronto-amygdala function in mouse and human. *Nature Communications*, 6(1), 6395. <https://doi.org/10.1038/ncomms7395>

- Dreyfuss, M., Caudle, K., Drysdale, A. T., Johnston, N. E., Cohen, A. O., Somerville, L. H., Galván, A., Tottenham, N., Hare, T. A., y Casey, B. J. (2014). Teens impulsively react rather than retreat from threat. *Developmental Neuroscience*, 36(3-4), 220-227. <https://doi.org/10.1159/000357755>
- Ernst, M., Torrisi, S., Balderston, N., Grillon, C., y Hale, E. A. (2015). fMRI functional connectivity applied to adolescent neurodevelopment. *Annual Review of Clinical Psychology*, 11, 361-377. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032814-112753>
- Etkin, A., Egner, T., Peraza, D. M., Kandel, E. R., y Hirsch, J. (2006). Resolving emotional conflict: A role for the rostral anterior cingulate cortex in modulating activity in the amygdala. *Neuron*, 51(6), 871-882. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.07.029>
- Fareri, D. S., Gabard-Durnam, L., Goff, B., Flannery, J., Gee, D. G., Lumian, D. S., Caldera, C., y Tottenham, N. (2015). Normative development of ventral striatal resting state connectivity in humans. *Neuroimage*, 118, 422-437. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.06.022>
- Friedman, N. P., y Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 101-135. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-3445.133.1.101>
- Fuster, J. M. (2001). The prefrontal cortex—an update: Time is of the essence. *Neuron*, 30(2), 319-333. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101>
- Gardner, M., y Steinberg, L. (2005). Peer influence on risk taking, risk preference, and risky decision making in adolescence and adulthood: An experimental study. *Developmental Psychology*, 41(4), 625-635. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0012-1649.41.4.625>
- Gee, D. G., Gabard-Durnam, L. J., Flannery, J., Goff, B., Humphreys, K. L., Telzer, E. H., Hare, T. A., Bookheimer, S. Y., y Tottenham, N. (2013). Early developmental emergence of human amygdala–prefrontal connectivity after maternal deprivation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(39), 15638-15643. <https://doi.org/10.1073/pnas.1307893110>
- Giedd, J. N. (2008). The teen brain: Insights from neuroimaging. *Journal of Adolescent Health*, 42(4), 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2008.01.007>
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., y Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: A longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861–863. <https://doi.org/10.1038/13158>
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., y Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174-8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>
- Gross, J. J. (1998). The emerging field of emotion regulation: An integrative review. *Review of General Psychology*, 2(3), 271–299. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.3.271>
- Gullone, E., Hughes, E. K., King, N. J., y Tonge, B. (2010). The normative development of emotion regulation strategy used in children and adolescents: A 2-year follow-up study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 51(5), 567-574. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02183.x>

- Guyer, A. E., Silk, J. S., y Nelson, E. E. (2016). The neurobiology of the emotional adolescent: From the inside out. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 70, 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.07.037>
- Hare, T. A., Tottenham, N., Galvan, A., Voss, H. U., Glover, G. H., y Casey, B. J. (2008). Biological substrates of emotional reactivity and regulation in adolescence during an emotional Go-NoGo task. *Biological Psychiatry*, 63(10), 927-934. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2008.03.015>
- Hein, A., Meulenbroek, P., y Turkstra, L. S. (2009). Adolescent brain and cognitive developments: Implications for clinical assessment in traumatic brain injury. *Topics in Language Disorders*, 29(3), 249–265. <https://doi.org/10.1097/TLD.0b013e3181b53211>
- Heller, A. S., y Casey, B. J. (2016). The neurodynamics of emotion: Delineating typical and atypical emotional processes during adolescence. *Developmental Science*, 19(1), 3-18. <https://doi.org/10.1111/desc.12373>
- Helion, C., Krueger, S. M., y Ochsner, K. N. (2019). Emotion regulation across the life span. En M. D'Esposito, y J. H. Grafman (Eds.), *Handbook of clinical neurology* (Vol. 163, cap. 14, pp. 257-280). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00014-8>
- Hernández-Villalobos, J. (2013). *Influencia del contexto emocional en tareas de inhibición en adolescentes con alto y bajo índice de regulación conductual* [Tesis de Maestría no publicada]. Universidad de Guadalajara
- Hwang, K., Velanova, K., y Luna, B. (2010). Strengthening of top-down frontal cognitive control networks underlying the development of inhibitory control: A functional magnetic resonance imaging effective connectivity study. *Journal of Neuroscience*, 30(46), 15535-15545. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2825-10.2010>
- Jaeger, A. (2013). Inhibitory control and the adolescent brain: A review of fMRI research. *Psychology & Neuroscience*, 6, 23-30. <https://doi.org/10.3922/j.psns.2013.1.05>
- Jobson, D. D., Hase, Y., Clarkson, A. N., y Kalaria, R. N. (2021). The role of the medial prefrontal cortex in cognition, ageing and dementia. *Brain Communications*, 3(3), fcab125. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcab125>
- Littman, R., y Takács, Á. (2017). Do all inhibitions act alike? A study of go/no-go and stop-signal paradigms. *PLoS ONE*, 12(10), e0186774. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186774>
- Llamas-Alonso, L., Angulo-Chavira, A., y Ramos-Loyo, J. (2019). Behavioral and emotional regulation in adolescence: A psychophysiological approach. En M. Felicien (Ed.), *Understanding early adolescence: Perspectives, behavior and gender differences* (pp. 19–67). Nova Science Publishers.
- Luna, B., y Wright, C. (2016). Adolescent brain development: Implications for the juvenile criminal justice system. En K. Heilbrun, D. DeMatteo, y N. E. S. Goldstein (Eds.), *APA handbook of psychology and juvenile justice* (pp. 91–116). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14643-005>
- Martin, R. E., y Ochsner, K. N. (2016). The neuroscience of emotion regulation development: Implications for education. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 142-148. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.06.006>
- Martínez-Velázquez, E. S., Ramos-Loyo, J., González-Garrido, A. A., y Sequeira, H. (2015). Feedback-related negativity is enhanced in adolescence during a gambling task with and

- without probabilistic reinforcement learning. *Neuroreport*, 26(2), 45-49. <https://doi.org/10.1097/wnr.000000000000291>
- Moeller, F. G., Barratt, E. S., Dougherty, D. M., Schmitz, J. M., y Swann, A. C. (2001). Psychiatric aspects of impulsivity. *American Journal of Psychiatry*, 158(11), 1783-1793. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.158.11.1783>
- Morawetz, C., Bode, S., Derntl, B., y Heekeren, H. R. (2017). The effect of strategies, goals and stimulus material on the neural mechanisms of emotion regulation: A meta-analysis of fMRI studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 72, 111-128. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.014>
- Munakata, Y., Herd, S. A., Chatham, C. H., Depue, B. E., Banich, M. T., y O'Reilly, R. C. (2011). A unified framework for inhibitory control. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(10), 453-459. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.07.011>
- Nelson, B. D., Fitzgerald, D. A., Klumpp, H., Shankman, S. A., y Phan, K. L. (2015). Prefrontal engagement by cognitive reappraisal of negative faces. *Behavioural Brain Research*, 279, 218-225. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.11.034>
- Nigg, J. T. (2017). Annual Research Review: On the relations among self-regulation, self-control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk-taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58(4), 361-383. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12675>
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126(2), 220-246. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-2909.126.2.220>
- Niendam, T. A., Laird, A. R., Ray, K. L., Dean, Y. M., Glahn, D. C., y Carter, C. S. (2012). Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 12(2), 241-268. <https://doi.org/10.3758/s13415-011-0083-5>
- Ochsner, K. N., Bunge, S. A., Gross, J. J., y Gabrieli, J. D. E. (2002). Rethinking feelings: An fMRI study of the cognitive regulation of emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(8), 1215-1229. <https://doi.org/10.1162/089892902760807212>
- Ochsner, K. N., y Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(5), 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.010>
- Pfeifer, J. H., y Allen, N. B. (2012). Arrested development? Reconsidering dual-systems models of brain function in adolescence and disorders. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(6), 322-329. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.04.011>
- Ramos-Loyo, J., Angulo-Chavira, A., Llamas-Alonso, L., y González-Garrido, A. (2016). Sex differences in emotional contexts modulation on response inhibition. *Neuropsychologia*, 91, 290-298. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.08.023>
- Ramos-Loyo, J., Llamas-Alonso, L. A., González-Garrido, A. A., y Hernández-Villalobos, J. (2017). Emotional contexts exert a distracting effect on attention and inhibitory control in female and male adolescents. *Scientific Reports*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02020-8>
- Reynolds, L. M., y Flores, C. (2021). Mesocorticolimbic dopamine pathways across adolescence: Diversity in development. *Frontiers in Neural Circuits*, 15, 735625. <https://doi.org/10.3389/fncir.2021.735625>

- Reynoso-Orozco, O. (2016). *Relación entre el rendimiento académico y la capacidad de regulación de la conducta y las emociones en estudiantes de educación superior: Un estudio electrofisiológico*. [Tesis de Doctorado no publicada]. Universidad de Guadalajara.
- Roth, R. M., Isquith, P. K., y Gioia, G. A. (2000). *Inventario de Evaluación del Comportamiento de Funciones Ejecutivas versión para adultos BRIEF-A*. Psychological Assessment Resources.
- Rubia, K., Lim, L., Ecker, C., Halari, R., Giampietro, V., Simmons, A., Brammer, M., y Smith, A. (2013). Effects of age and gender on neural networks of motor response inhibition: From adolescence to mid-adulthood. *NeuroImage*, 83, 690–703. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.06.078>
- Rubia, K., Smith, A. B., Taylor, E., y Brammer, M. (2007). Linear age-correlated functional development of right inferior fronto-striato-cerebellar networks during response inhibition and anterior cingulate during error-related processes. *Human Brain Mapping*, 28(11), 1163-1177. <https://doi.org/10.1002/hbm.20347>
- Rubia, K., Smith, A. B., Woolley, J., Nosarti, C., Heyman, I., Taylor, E., y Brammer, M. (2006). Progressive increase of frontostriatal brain activation from childhood to adulthood during event-related tasks of cognitive control. *Human Brain Mapping*, 27(12), 973-993. <https://doi.org/10.1002/hbm.20237>
- Ryman, S. G., El Shaikh, A. A., Shaff, N. A., Hanlon, F. M., Dodd, A. B., Wertz, C. J., Ling, J. M., Barch, D. M., Stromberg, S. F., Lin, D. S., Abrams, S., y Mayer, A. R. (2019). Proactive and reactive cognitive control rely on flexible use of the ventrolateral prefrontal cortex. *Human Brain Mapping*, 40(3), 955–966. <https://doi.org/10.1002/hbm.24424>
- Shenhav, A., Botvinick, M. M., y Cohen, J. D. (2013). The expected value of control: An integrative theory of anterior cingulate cortex function. *Neuron*, 79(2), 217-240. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.07.007>
- Shulman, E. P., Smith, A. R., Silva, K., Icenogle, G., Duell, N., Chein, J., y Steinberg, L. (2016). The dual systems model: Review, reappraisal, and reaffirmation. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 17, 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.12.010>
- Silva-Contreras, L. (2019). *Actividad metabólica cerebral relacionada a inhibición de respuestas con contexto emocional en adolescentes y adultos* [Tesis de Maestría no publicada]. Universidad de Guadalajara.
- Silvers, J. A., Insel, C., Powers, A., Franz, P., Helion, C., Martin, R., Weber, J., Mischel, W., Casey, B. J., y Ochsner, K. N. (2017). The transition from childhood to adolescence is marked by a general decrease in amygdala reactivity and an affect-specific ventral-to-dorsal shift in medial prefrontal recruitment. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 25, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.06.005>
- Silvers, J. A., McRae, K., Gabrieli, J. D. E., Gross, J. J., Remy, K. A., y Ochsner, K. N. (2012). Age-related differences in emotional reactivity, regulation, and rejection sensitivity in adolescence. *Emotion*, 12(6), 1235–1247. <https://doi.org/10.1037/a0028297>
- Somerville, L. H., Hare, T., y Casey, B. (2011). Frontostriatal maturation predicts cognitive control failure to appetitive cues in adolescents. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(9), 2123-2134. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21572>

- Spear, L. P. (2000). The adolescent brain and age-related behavioral manifestations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 24(4), 417-463. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(00\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(00)00014-2)
- Spear, L. P. (2013). Adolescent neurodevelopment. *Journal of Adolescent Health*, 52(2 Supl. 2), S7–S13. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2012.05.006>
- Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 69-74. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.12.005>
- Steinberg, L. (2008). A social neuroscience perspective on adolescent risk-taking. *Developmental Review*, 28(1), 78–106. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.08.002>
- Stevens, M. C., Kiehl, K. A., Pearson, G. D., y Calhoun, V. D. (2007). Functional neural networks underlying response inhibition in adolescents and adults. *Behavioural Brain Research*, 181(1), 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2007.03.023>
- Stifter, C., y Augustine, M. (2019). Emotion regulation. En V. LoBue, K. Pérez-Edgar, y K. Buss (Eds.), *Handbook of emotional development* (pp. 405–430). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-17332-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-17332-6_16)
- Taylor, B. K., Frenzel, M. R., Eastman, J. A., Embury, C. M., Agcaoglu, O., Wang, Y. P., Stephen, J. M., Calhoun, V. D., y Wilson, T. W. (2022). Individual differences in amygdala volumes predict changes in functional connectivity between subcortical and cognitive control networks throughout adolescence. *NeuroImage*, 247, 118852. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118852>
- Taylor, S. F., Lee, T. G., Jonides, J., Tso, I. F., y Hernandez-Garcia, L. (2020). Theta burst transcranial magnetic stimulation of fronto-parietal networks: Modulation by mental state. *Journal of Psychiatry and Brain Science*, 5, e200011. <https://doi.org/10.20900%2Fjpbs.20200011>
- Thompson, R. A. (1994). Emotion regulation: a theme in search of definition. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 59(2/3), 25-52. <https://doi.org/10.2307/1166137>
- Tottenham, N., Hare, T. A., y Casey, B. J. (2011). Behavioral assessment of emotion discrimination, emotion regulation, and cognitive control in childhood, adolescence, and adulthood. *Frontiers in Psychology*, 2, 39. <https://doi.org/10.3389%2Ffpsyg.2011.00039>
- Tyborowska, A., Volman, I., Smeekens, S., Toni, I., y Roelofs, K. (2016). Testosterone during puberty shifts emotional control from pulvinar to anterior prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience*, 36(23), 6156-6164. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3874-15.2016>
- van Noordt, S., y Willoughby, T. (2021). Cortical maturation from childhood to adolescence is reflected in resting state EEG signal complexity. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 48, 100945. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.100945>
- Vázquez Moreno, P. A. (2018). *Efecto de los pares sobre la inhibición de respuesta en adolescentes ante condiciones de cooperación y competencia: Diferencias sexuales* [Tesis de Doctorado no publicada]. Universidad de Guadalajara.
- Vázquez-Moreno, A., González-Garrido, A. A., y Ramos-Loyo, J. (2019). Delayed response improves inhibitory control in low-and high-impulsivity adolescents: Effects of emotional contexts. *International Journal of Psychological Studies*, 11(2), 42-53. <https://doi.org/10.5539/ijps.v11n2p42>
- Whittle, S., Yap, M. B. H., Yücel, M., Fornito, A., Simmons, J. G., Barrett, A., Sheeber, L., y Allen, N. B. (2008). Prefrontal and amygdala volumes are related to adolescents' affective



behaviors during parent-adolescent interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(9), 3652-3657.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0709815105>

Zelazo, P. D., y Cunningham, W. A. (2007). Executive function: mechanisms underlying emotion regulation. En J. J. Gross (Ed.), *Handbook of emotion regulation* (pp. 135–158). The Guilford Press.