



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
División de Ciencias Biológicas
Departamento de Ciencias Ambientales

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

Monitoreo de la conducta en adolescentes ante una tarea de juego de apuesta con y sin implicación de aprendizaje: estudio con potenciales relacionados con eventos

Tesis

que para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO
(ORIENTACIÓN NEUROCIENCIA)

presenta

Eduardo Salvador Martínez Velázquez

Comité tutorial

Dra. Julieta Ramos Loyo (Directora)

Dr. Luis Miguel Sánchez Loyo

Dr. Andrés A. González Garrido

Dr. Luis Francisco Cerdán Sánchez

Agradecimientos

***Mi más sincero agradecimiento a las instituciones que hicieron posible el desarrollo de este proyecto
Gracias***

Al instituto de Neurociencias del centro universitario de ciencias biológicas y agropecuarias de la Universidad de Guadalajara

Al Laboratoire de Neurosciences Fonctionnelles et Pathologies (LNFP) perteneciente a la Universidad de Lille France

Al CONACyT

Con base al proyecto 155520

Esta tesis fue desarrollada con el patrocinio de CONACyT con el registro número:

219074/206696

Agradecimientos

Gracias a la vida en sí, que permite que todas las experiencias sean posibles.

Gracias a mis padres, a mis hermanos y a mi familia por su cariño y porque siempre me han estado apoyando en todo momento y en todo lo que hago.

Gracias a mis amigos que son también una parte importante de mi vida, Karlita, Yaira, Fabiola, Gregorio, Ray, Abraham, entre otros tantos.

Gracias a mi tutora de tesis, la Dra. Julieta Ramos Loyo por sus consejos, paciencia, enseñanzas, apoyo y porque siempre confió en trabajo.

Gracias a mis tutores, el Dr. Andrés, el Dr. Luis Cerdán, y el Dr. Luis Miguel por su gran apoyo, recomendaciones y sus comentarios siempre enriquecedores.

Gracias al Dr. Henríque Sequeira por abrirme las puertas de su País y de su laboratorio, enseñándome un mundo de conocimientos nuevos que explorar.

Gracias a todos los adolescentes y adultos que desinteresadamente colaboraron para realizar este estudio.

A mis compañeros y amigos del laboratorio de psicofisiología, Luis, León, Almitra, Cristina, Eddy, Cristy, Alfonso, Elizabeth, y a los que en su momento lo fueron en Lille, Jülien, Fabien, Erika, Sophía, Sophía Alexandre y Tatiana, por las experiencias compartidas y su agradable compañía.

*A todos ustedes:
Muchísimas gracias!!*

Lalo Salvador Mtz.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue identificar las diferencias entre adolescentes y adultos en el monitoreo de la conducta que conlleva un involucramiento emocional ante una tarea de *juego de apuesta* con y sin implicación del aprendizaje, evaluando las elecciones de alta y baja magnitud y el componente FRN. Se evaluó también el nivel de impulsividad (BIS-11) y la sensibilidad a la recompensa y el castigo (SCSR). Participaron 15 adolescentes (16 a 17 años) y 15 adultos (28-34 años). Se aplicó la tarea de *juego de apuesta* basada en Nieuwenhuis et al., (2004), que consistió en: a) condiciones con implicación de aprendizaje, versión favorable (30% pérdidas y 70% ganancias) y desfavorable (30% ganancias y 70% pérdidas), b) condición sin implicación de aprendizaje fue con 50% pérdidas y 50% ganancias. Se evaluó el porcentaje de elecciones de baja (\$5) y alta magnitud (\$25). *Resultados:* No se presentaron diferencias entre grupos en el puntaje de impulsividad ni en la sensibilidad a la recompensa y el castigo. *Conductuales:* No se observaron diferencias en las elecciones de alta y baja magnitud entre grupos ni entre condiciones. Con respecto a las diferencias entre alta (\$25) y baja (\$5) magnitud dentro de cada condición, se observó en el grupo de los adultos un mayor porcentaje de elecciones de baja magnitud (\$5) en comparación con alta magnitud (\$25) en las condiciones con y sin implicación de aprendizaje. Mientras que los adolescentes mostraron estas mismas diferencias solo en las condiciones con implicación de aprendizaje y una tendencia en la condición sin aprendizaje. Además, los adolescentes mostraron una correlación negativa entre la impulsividad general y el tiempo de respuesta en las condiciones con aprendizaje (favorable y desfavorable). *Electrofisiológicos:* se presentó una mayor amplitud del FRN en los adolescentes que en los adultos ante las pérdidas en las condiciones con y sin implicación de aprendizaje. En la condición sin implicación de aprendizaje se presentó además una mayor latencia en los adolescentes que en los adultos. *Conclusión:* Los resultados sugieren un monitoreo de la conducta funcional por parte de ambos grupos generando adecuaciones conductuales conforme a la retroalimentación externa, sobre todo cuando se implica aprendizaje. Sin embargo, al parecer dicho monitoreo de la conducta sigue siendo vulnerable durante la adolescencia sobre todo en condiciones sin implicación de aprendizaje, es decir en situaciones con incertidumbre sugiriendo así un sistema regulador aún en desarrollo.

Palabras clave: monitoreo, aprendizaje, FRN

Abstract

The aim of the present study was to identify the differences between adolescents and adults in behavioral monitoring that imply an emotional concern in a gambling task with and without learning involvement, through the evaluation of high and low magnitude choices and the amplitude and latency of the FRN component. The level of impulsivity (BIS -11) and sensitivity to reward and punishment (SCSR) were also evaluated. Fifteen adolescents (16-17 years) and 15 adults (28-36 years) participated in the study. The gambling task was based on Nieuwenhuis et al. (2004) and consisted of: a) conditions with favorable learning (30% losses and 70% wins) and unfavorable (30% losses and 70% wins), b) no learning condition (50% losses and 50% wins). The wins obtained in the task were changed for a real monetary reward. The percentage of low-magnitude choices (\$5) and high-magnitude choices (\$25) was evaluated.

Results: No differences between groups were found in impulsivity or sensitivity to reward and punishment scores. *Behavior:* No differences between groups or between conditions were observed. When comparing the number of choices of low and high magnitude, differences in unfavorable learning involvement were observed, with a higher percentage of choices of low than high magnitude in both groups. In the condition without learning, differences between high and low magnitude were presented only in the adult group. In addition, adolescents showed a negative correlation between impulsivity and response time in the learning conditions (favorable and unfavorable). *Electrophysiological:* A greater FRN amplitude was observed in adolescents than in adults related to losses in both, with and without learning conditions. In the without learning condition, a higher latency was found in adolescents than in adults.

Conclusion: Results suggest an adequate behavioral monitoring by both groups, through behavioral adaptations according to external feedback, especially when learning is involved. However, it seems that behavioral monitoring remains vulnerable during adolescence, especially in conditions without learning that imply uncertainty, suggesting a regulatory system still under development.

Keywords: monitoring, learning, FRN.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
1. La adolescencia	4
<i>1.1 El desarrollo neural durante la adolescencia</i>	7
<i>1.2 El desarrollo de la corteza prefrontal asociado con la eficiencia de las funciones ejecutivas y la regulación emocional</i>	8
<i>1.3 Modelos explicativos sobre la actividad reguladora en la adolescencia</i>	9
2. La regulación emocional	13
<i>2.1 La regulación emocional durante la adolescencia</i>	17
<i>2.2 La evaluación de la regulación emocional y el EEG</i>	18
<i>2.3 Los potenciales relacionados con eventos (PREs)</i>	20
<i>2.4 El monitoreo de la conducta en la toma de decisiones</i>	22
<i>2.5 El aprendizaje</i>	27
<i>2.6 Monitoreo de la conducta en adolescentes</i>	28
<i>2.7 El componente FRN</i>	29
3. Planteamiento del problema	34
4. Método	38
<i>4.1 Procedimiento</i>	40
<i>4.2 Diseño experimental</i>	41
5. Registro electroencefalográfico	42

6. Análisis estadístico	42
7. Resultados	44
8. Discusión	54
9. Conclusión	67
Referencias bibliográficas	68
Anexos	78

Introducción

La adolescencia es un periodo de suma relevancia social ya que implica un incremento en las habilidades cognitivas y generalmente también un incremento en las dificultades de las relaciones interpersonales, sociales y en las conductas de riesgo (Laursen, et al., 1998; Parra y Oliva, 2007). Se ha reportado que durante la adolescencia media (14 a 17 años) ya se han desarrollado ciertas habilidades ejecutivas que subyacen a la regulación de la conducta. Sin embargo, algunos adolescentes siguen presentando ciertas dificultades para regular su conducta sobre todo cuando son expuestos a situaciones emocionales. De esta forma, se ha reportado que los adolescentes presentan dificultades en el control de impulsos y la regulación emocional (Steinberg, 2007; Ladoucer et al., 2007).

La regulación emocional implica la voluntad de emplear la atención, inhibir o activar conductas para lograr las metas con el propósito de adaptarse (Gross y Thompson, 2007; Hofer y Eisenberg, 2008). Dentro de este marco, puede considerarse al monitoreo de la conducta como el encargado de detectar y evaluar cuando las metas no han sido obtenidas y formular una alternativa, aún cuando dicha evaluación implique un involucramiento emocional (Gehring y Willoughby, 2002; Nieuwenhuis et al., 2004). Sin embargo, se desconoce si los adolescentes en comparación con los adultos presentan diferencias en este proceso que pudieran coadyuvar a explicar sus dificultades de regulación emocional.

Una forma de evaluar el monitoreo de la conducta con involucramiento emocional es por medio de tareas de *juegos de apuesta*, las cuales se consideran que pueden generar un impacto emocional debido a las pérdidas y las ganancias monetarias (Gehring y Willoughby, 2002; Bechara, 2005).

Por otra parte, las técnicas electroencefalográficas son una herramienta de medición que tienen la ventaja de mostrar una excelente precisión y velocidad durante la actividad cerebral relacionada con algún proceso como el monitoreo de la conducta. A través del análisis de potenciales relacionados con eventos (PREs) se ha identificado el componente FRN que se relaciona con el monitoreo de la conducta ante *tareas de juego de apuesta* sin implicación de aprendizaje (*gambling task*) o con implicación del aprendizaje (*probabilistic reinforcement learning*) (Holroyd y Coles, 2002; Gehring y Willoughby, 2002). Las tareas de *juego de apuesta* que implican aprendizaje se basan en el sesgo de las

probabilidades de pérdidas y ganancias (*probabilistic reinforcement learning*), lo que permite realizar elecciones convenientes de alta y baja magnitud dependiendo de dichas probabilidades. Mientras que en las tareas de *juego de apuesta* sin implicación de aprendizaje se presenta una equidad en el número de pérdidas y ganancias por lo que no permiten la predicción de resultados.

Sin embargo, son pocos los estudios que se han centrado en evaluar el monitoreo de la conducta en los adolescentes por medio de tareas de *juego de apuesta* tanto con y sin la implicación de aprendizaje y que además consideren el componente FRN.

Hasta donde sabemos sólo hay un estudio que implica la comparación entre adolescentes y adultos ante una tarea con aprendizaje por reforzamiento, en el que no se reportan diferencias de mayor amplitud del componente FRN. Así mismo a nivel conductual ambos, adolescentes y adultos, mostraron una adaptación conductual semejante con una mayor cantidad de opciones convenientes (Hämmerer et al., 2011).

Por otra parte, solo hay en la literatura 2 estudios que se han centrado en identificar las diferencias entre adolescentes y adultos con base al componente FRN, uno de ellos reportando mayor amplitud en los adolescentes que los adultos, interpretando ésto como mayor sensibilidad hacia la retroalimentación externa por parte de los adolescentes (Zottoli et al., 2011), mientras que el otro estudio no reportó diferencias en este sentido (Santesso et al., 2011).

De esta forma, los resultados anteriores no permiten llegar a una conclusión precisa sobre el monitoreo de la conducta de los adolescentes tanto a nivel conductual, como electrofisiológico ya que muestran resultados inconsistentes.

Con base a lo anterior, el presente trabajo se centró en abordar el monitoreo de la conducta que conlleva un involucramiento emocional comparando la ejecución entre adolescentes y adultos, a través de una tarea de *juego de apuesta* con y sin implicación de aprendizaje, considerando tanto las variables conductuales de elecciones entre alta y baja magnitud, como la amplitud y latencia del componente FRN.

El hecho de identificar diferencias entre adolescentes y adultos podría coadyuvar a explicar la manera en la que los adolescentes toman decisiones

conforme al monitoreo de la conducta cuando hay un involucramiento emocional, tanto en situaciones con y sin la implicación de aprendizaje.

De esta manera, la tesis aborda en primera instancia, una visión general de la adolescencia y el desarrollo de los mecanismos cerebrales relacionados con la regulación emocional. Estos temas se explican en el primer capítulo.

El segundo capítulo corresponde a la definición del término de la regulación emocional y la explicación de su relevancia en función de la adaptación del sujeto a su ambiente, tanto en adolescentes como en adultos. Así mismo se señala el vínculo de la regulación emocional con el monitoreo de la conducta. Dentro de este mismo capítulo, se hace reseña de la evaluación del monitoreo de la conducta con base a las tareas de apuesta en población adolescente, así como su relación con el componente FRN y los aspectos de aprendizaje en dichas tareas.

En el capítulo tres se muestra el planteamiento del problema argumentando y justificando la relevancia de este estudio y plasmando las preguntas de investigación.

En el capítulo cuatro se describe el método y las condiciones que se implementaron en la *tarea de juego de apuesta* aplicada en este estudio. Las condiciones fueron con aprendizaje en una versión favorable (70% ganancias y 30% pérdidas) y una versión desfavorable (con 70% pérdidas y 30% ganancias) y otra condición sin la implicación de aprendizaje con 50% de pérdidas y 50% de ganancias. Así mismo, en este capítulo se describe el procedimiento y el diseño experimental.

Por otra parte, en los capítulos cinco y seis se describe como fue el registro electroencefalográfico conforme al sistema internacional 10-20 y los análisis que se aplicaron a los resultados obtenidos.

Dentro del capítulo siete se redactan los resultados tanto a nivel conductual como a nivel electrofisiológico y se presentan las gráficas de los mismos.

En el capítulo ocho se presenta la discusión conforme a las perspectivas teóricas actuales sobre el componente FRN y el ajuste de la respuesta conductual basada en el aprendizaje. Así mismo se presenta una discusión de los resultados en términos de la regulación emocional vinculada al monitoreo de la conducta y finalmente en el capítulo nueve se presenta la conclusión final de este trabajo en relación a la respuesta de la pregunta de investigación inicial.

1. La adolescencia

La adolescencia es definida como el periodo de transición en el que se establece el cambio de la niñez a la adultez y en el que emerge la capacidad para la reproducción. En este período de la vida ocurren intensos cambios a nivel físico, psíquico y social (Casas et al., 2005).

Se considera un periodo de suma relevancia para el contexto social ya que se ha reportado que durante esta etapa se presenta un incremento de las habilidades cognitivas (Crone et al., 2004), aunque generalmente también se presenta un incremento en dificultades por parte de los adolescentes con respecto a sus relaciones interpersonales (Laurson et al., 1998; Parra y Oliva, 2007) y sociales (Larson y Richards, 1994; Oliva, 2007).

La adolescencia inicia con el período de la “pubertad”, palabra proveniente del latín “pubertas” que se refiere a la edad en que aparece el vello viril o púbico, que junto con otros cambios neuro-hormonales preparan al adolescente para la procreación (Domínguez, 2008). Durante la etapa prepuberal, la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y por ende las hormonas gonadotropinas hipofisarias, (hormona luteinizante LH y la hormona estimulante del folículo FSH), se mantienen inhibidas por la zona del hipotálamo medio basal conocido como el gonadostato, el cual es el productor de la GnRH. Durante este periodo el gonadostato posee una alta sensibilidad por lo que requiere de niveles muy bajos de esteroides gonadales para frenar la producción de GnRH. El periodo de la pubertad se inicia con una disminución de la sensibilidad del gonadostato, lo que permite el aumento de la secreción de GnRH y ésta a su vez actúa sobre la hipófisis para incrementar la secreción de las gonadotropinas (FSH y LH). Las gonodotropinas estimulan la gónada correspondiente (ovario o testículos) para conseguir el aumento en la producción de andrógenos y estrógenos (Casas et al., 2005). Por otra parte, desde hace ya más de cien años, se ha considerado que el inicio de la pubertad se ha ido adelantando de 3 a 4 meses cada decenio, razón por la que puede ser muy variable. Aunque generalmente, fluctúa en un 95% entre los 8.5 y 13 años para las niñas y entre 9.5 y 14 años para los niños (Casas et al., 2005). Actualmente, la edad promedio en la que se presenta la menarquía para el caso de las niñas es en los 12.4 años (Casas et al., 2005).

Una vez que inicia la pubertad se puede hablar entonces del comienzo de la adolescencia, la cual puede ser dividida en 3 etapas: a) adolescencia temprana

(11-13 años), b) adolescencia media (14-17 años) y c) adolescencia tardía (17-21 años) (Casas et al., 2005; Steinberg, 2005).

a) La adolescencia temprana (11-13 años)

La adolescencia temprana es caracterizada principalmente por el rápido crecimiento somático y la aparición de los caracteres sexuales secundarios. Con respecto a las características cognitivas se considera que la capacidad de pensamiento es de tipo concreto según los estadios de Piaget (1969), por lo que se ha señalado que en este periodo no se perciben implicaciones a futuro de las decisiones y actos propios (Casas et al., 2005). Así, los adolescentes creen que son el centro de atención y muchas de sus conductas están moduladas por un tipo de orientación egocéntrica, existencialista y egoísta. Sin embargo, algunos autores han señalado que durante esta etapa también se puede observar un mejoramiento en el razonamiento deductivo y una mayor eficiencia y capacidad para el procesamiento de la información, sobre todo al final de este periodo (Steinberg, 2005).

b) La adolescencia media (14-17 años)

Durante esta etapa el crecimiento y la maduración sexual son prácticamente finalizados y se alcanza un desarrollo aproximado del 95% de la talla adulta por lo que a partir de este periodo los cambios se vuelven más lentos y permiten el restablecimiento de la imagen corporal. La capacidad cognitiva es de tipo abstracto (Piaget, 1969) aunque el uso de este tipo de pensamiento no es constante y por periodos breves vuelve a ser de tipo concreto sobre todo en momentos de estrés. Durante este periodo (15-16 años) puede observarse la capacidad de planeación abstracta, multidimensional y pensamiento hipotético que se asemeja bastante a la edad adulta (Steinberg, 2005). Estudios sobre respuestas a dilemas hipotéticos que implican la percepción y el “*appraisal*” sobre los riesgos, muestran pocas diferencias entre adolescentes y adultos luego de este periodo (Steinberg, 2005). Otras de las características de los adolescentes de esta edad son el interés por temas idealistas y las sensaciones de omnipotencia e invulnerabilidad dado por su pensamiento mágico, el cual se refiere a la idea de creer que en esta edad nunca les ocurrirá ningún percance.

c) La adolescencia tardía (17-21 años)

Por otra parte, durante la adolescencia tardía se ha establecido que en esta etapa el crecimiento está terminado y que hay una madurez física mucho más completa. En este periodo se considera que el pensamiento abstracto puede estar plenamente determinado, aunque no necesariamente todas las personas lo consiguen. Así mismo, en esta etapa se tiene la habilidad de orientarse hacia el futuro y se tiene la capacidad de percibir y actuar según las implicaciones de los actos (Casas et al., 2005).

Por otra parte, aunque haya algunos adolescentes que atraviesen este periodo sin experimentar complicaciones especiales o mayores dificultades, algunos otros se caracterizan por presentar ciertas dificultades principalmente, en las siguientes áreas: los conflictos con los padres (Laursen et al, 1998; Parra y Oliva, 2007), la inestabilidad emocional (Larson y Richards, 1994) y sobre todo, las conductas de riesgo (Arnett, 1999). Las conductas de riesgos son aquellas que conllevan una excitación fisiológica placentera de manera inmediata, pero que están asociadas a probables resultados indeseables, como conducir a alta velocidad, el consumo de drogas, el comportamiento antisocial o el mantenimiento de relaciones sexuales sin utilizar métodos anticonceptivos, etc. (Boyer, 2006).

Algunos autores señalan que estas conductas de riesgo pueden ser tomadas en los adolescentes a pesar de conocer y comprender los riesgos que puedan estar involucrados (Martín et al., 2002).

De esta manera, algunos investigadores han tratado de explicar dicho comportamiento de los adolescentes y han propuesto varias explicaciones desde diferentes perspectivas. Algunos autores han atribuido este incremento de problemas en los adolescentes a los cambios hormonales iniciados en la pubertad, aunque esta perspectiva ha sido cuestionada por los pocos efectos directos que se han encontrado entre andrógenos y estrógenos sobre la conducta (Spear, 2007).

Otros autores basados más en perspectivas socio-culturales han señalado que los adolescentes podrían ser susceptibles a la influencia de los factores sociales y emocionales y así, tomar decisiones más riesgosas cuando están acompañados (Oliva, 2003) o teniendo un efecto sobre su control de impulsos (Steinberg, 2008).

Finalmente, otros autores consideran una perspectiva centrada en la influencia de los cambios cerebrales que surgen durante la segunda etapa de la

vida, es decir, el desarrollo cerebral durante la adolescencia (Giedd et al., 1999; Weinberger, et al., 2005; Oliva, 2007), los cuales se explicarán en el siguiente apartado.

1.1 El desarrollo neural durante la adolescencia.

Los principales cambios neurales que surgen en la adolescencia a partir de la pubertad pueden clasificarse como 2 básicos: 1) la poda neural (apoptosis) generando mejores conexiones y 2) la mielinización o el aumento de la sustancia blanca (Kuhn, 2006).

Algunos estudios han demostrado que hay una mayor proliferación de la materia gris al final de la primera década de vida (Sowell, et al., 2002). Luego de la proliferación sináptica, comienza la eliminación de las conexiones que no se usan por medio de la apoptosis, para quedar con un número de sinapsis reducido y que es propio de la adultez. Particularmente, en la corteza prefrontal la sustancia gris aumenta hasta los 11 años en las niñas y hasta los 12 años en los niños para iniciar la poda en un periodo inmediatamente anterior a la pubertad, en una secuencia que va desde la corteza occipital hasta la corteza frontal (Gogtay et al., 2004). La supresión de la apoptosis se complementa con el fortalecimiento de conexiones sinápticas por el desarrollo de la mielinización (Blakemore y Choudhury, 2006). Este proceso de ensamblaje sináptico permite un tipo de conectividad cada vez más rápida (proporcionada por la mielinización) y una mejor comunicación entre distintas regiones cerebrales, especialmente entre las áreas frontales que son cruciales para el funcionamiento ejecutivo tales como la planeación, metacognición, autoevaluación, autorregulación y la coordinación del afecto y la cognición (Sowell, et al., 2002; Steinberg, 2005).

Gracias a la utilización de técnicas como la resonancia magnética funcional (fMRI) se ha demostrado que el desarrollo de algunas regiones cerebrales como la corteza prefrontal, continúa luego de la adolescencia y no culmina hasta la adultez temprana (21-24 años) (Giedd et al., 1999).

Durante el periodo de la adolescencia la reorganización sináptica es ampliamente sensible a las influencias ambientales y a las experiencias personales, ya que la eliminación de unas conexiones neuronales y el fortalecimiento de otras obedecen la ley de “o lo usas o lo pierdes”, por lo que se pueden tener efectos persistentes en las conexiones sinápticas (Oliva, 2007).

Es por ésto, que la adolescencia es un momento clave en el proceso de socialización del individuo y en el cual se es más susceptible que la etapa adulta a tener efectos permanentes debidos al consumo de sustancias, ya que en la adultez se cuenta con una estructura cerebral madura (Spear, 2002). Con base a lo anterior, es que el periodo adolescente se ha relacionado con la maduración emocional e intelectual que se prolonga para la segunda década de la vida con base a los cambios estructurales de regiones cerebrales relacionadas con la respuesta inhibitoria, evaluación de riesgos y recompensa, la regulación de las emociones, además de cambios en la activación de la motivación (Steinberg, 2005).

1.2 El desarrollo de la corteza prefrontal asociado con la eficiencia de las funciones ejecutivas y la regulación emocional.

La corteza prefrontal es una de las zonas cerebrales más nuevas desde una perspectiva filogenética por lo que su desarrollo ontogenético no concluye si no hasta la tercera década de vida. En cambio, las áreas motoras o sensoriales que son filogenéticamente más viejas maduran en la primera década, puesto que cumplen con funciones más básicas (Gogtay et al., 2004).

El desarrollo de la corteza prefrontal implica las conexiones de esta zona con diversas áreas dentro y fuera de la misma corteza, concretamente las conexiones con la corteza orbitofrontal y con algunas estructuras del sistema límbico como el hipocampo, la amígdala y el núcleo caudado (Rolls, 1999). Son estas conexiones las que darán soporte al control cognitivo e inhibición de las emociones y la conducta, ya que la corteza prefrontal es la encargada las funciones ejecutivas (Goldberg, 2001) y la regulación emocional (Gross y Thompson, 2007).

Por lo tanto, algunos autores consideran que las conductas de riesgo en la adolescencia puedan deberse a la falta de desarrollo (Oliva, 2007).

A medida que madura la corteza prefrontal también lo hacen las funciones cognitivas asociadas con esta área debido a una activación menos difusa y más eficiente ante las tareas cognitivas (Durston et al., 2006; Kuhn, 2006), permitiendo así un aumento en la eficiencia de las funciones ejecutivas (Durston et al., 2006).

De este forma, la auto-regulación conductual que durante la adolescencia temprana depende de la corteza prefrontal inmadura, es controlada de manera

más eficaz a finales de esta etapa por el desarrollo de las conexiones de la corteza prefrontal y su relación con otras áreas cerebrales (Luna et al., 2001).

De este modo, las respuestas emocionales automáticas durante la adolescencia media, pasan a estar controladas por la corteza prefrontal, por lo cual deberá disminuir las conductas impulsivas que son características de este periodo (Weinberger et al., 2005).

Los cambios cognitivos que se establecen principalmente, por las mejoras en el procesamiento de la información pueden ser explicados por 3 causas principales:

- 1) El mejoramiento de la velocidad a causa de la mielinización.
- 2) Una mayor capacidad de procesamiento debido al fortalecimiento de las conexiones.
- 3) Una mejor capacidad de inhibición que implica particularmente, la resistencia a la interferencia de estímulos y el control inhibitorio de las respuestas propias (Kuhn, 2006).

1.3 Modelos explicativos sobre la actividad reguladora en la adolescencia.

Una propuesta interesante con respecto a las dificultades incrementadas durante la adolescencia ha sido la falta de madurez de la corteza prefrontal que se relaciona la impulsividad, facilitando así las conductas de riesgo (Nelson et al., 2005; Ernst y Paulus 2005; Ernst et al., 2006).

No obstante, esta postura ha sido criticada y es insuficiente al tratar de explicar cómo es que los niños muestran menos conductas de riesgo que los adolescentes y cuentan con una corteza prefrontal menos desarrollada (Oliva, 2007).

En respuesta a lo anterior, algunos investigadores propusieron que lo que sucede es que se presenta una desincronización en el desarrollo de maduración entre la corteza prefrontal aunada a sus funciones cognitivas y el sistema mesolímbico asociado con la recompensa y la motivación (Nelson et al., 2005; Ernst et al., 2006; Oliva, 2007; Steinberg, 2007).

El circuito mesolímbico ha sido ampliamente relacionado con la recompensa y la motivación y su principal neurotransmisor es la dopamina. El sistema dopaminérgico incluye el área tegmental ventral, el cuerpo estriado (núcleo accumbens y núcleo caudado), además de estructuras límbicas que

implican la amígdala y la corteza orbitofrontal (Burunat, 2004). La activación de este sistema mesolímbico surge por la implicación del sujeto en conductas recompensantes como el sexo, la comida, o el consumo de drogas. Dichas conductas provocan una liberación de dopamina principalmente, en el núcleo accumbens que genera una intensa sensación de placer y motiva al sujeto a la repetición de la conducta. Es un circuito neuronal básico para el aprendizaje ya que contribuye al vínculo de asociación entre la conducta y sus consecuencias (Chambers et al., 2003). Así, se ha propuesto que el sustrato neural para la recompensa y las conductas de aproximación es este sistema mesolímbico y el núcleo accumbens, principalmente. Mientras tanto, la amígdala sería el sustrato principal para el aprendizaje evitativo por las situaciones aversivas asociadas con las emociones negativas (Ernst et al., 2006). El circuito evitativo es complementario al anterior y supone el freno conductual ante los estímulos considerados aversivos porque fueron asociados previamente a daños derivados por una conducta.

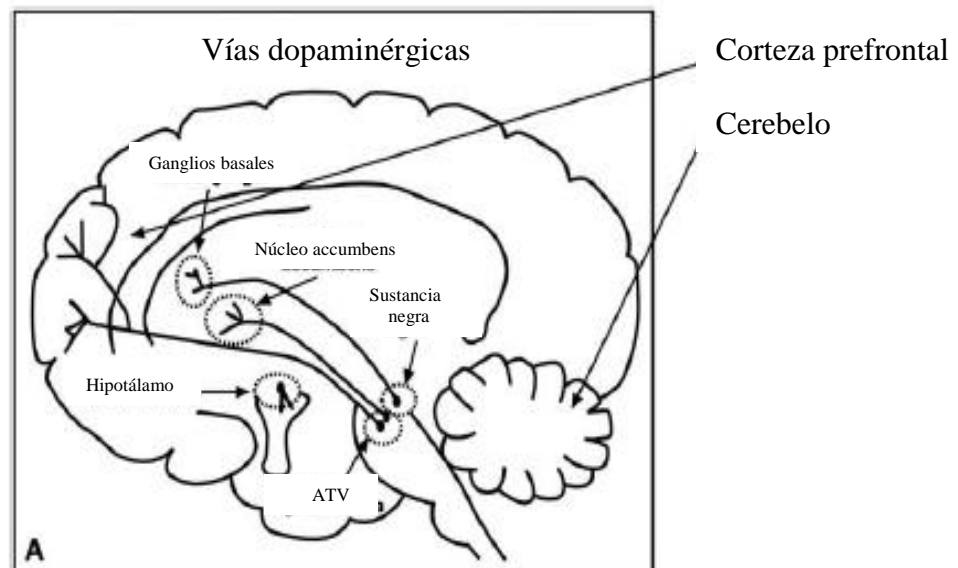


Figura 1. El sistema mesolímbico. (Tomado de Nigg, 2005).

Se muestran las vías dopaminérgicas: Mesolímbica: del área tegmental ventral (ATV) al núcleo accumbens. Mesocortical del ATV a la corteza. Nigroestriada: Sustancia negra al cuerpo estriado

El desarrollo del sistema mesolímbico es estimulado por los cambios que se generan durante la pubertad a consecuencia del aumento de la producción hormonal, ya que las áreas que lo integran están muy inervadas por receptores esteroides (Romeo y McEwen, 2006).

Por otra parte, la maduración del circuito prefrontal es lento y depende de la edad y el aprendizaje para alcanzar su madurez hasta la tercera década de la vida y no se ve acelerada por los cambios hormonales de la pubertad (Oliva, 2007).

De esta forma, se sugiere que hay un desequilibrio que se establece en la adolescencia temprana con un circuito motivacional muy propenso para actuar ante situaciones de recompensa inmediata y un circuito autorregulador inmaduro por lo cual, se presentan muchas dificultades para tener un control inhibitorio ante conductas impulsivas (Oliva, 2007). Así, el sistema evitativo que se encarga de propiciar las respuestas aversivas ante las consecuencias negativas de una conducta, se muestra menos sensible en la etapa de la adolescencia. Es decir, que hay una menor activación de la amígdala en adolescentes ante las consecuencias negativas de su conducta, lo que influirá en una menor valoración de riesgos probables. Esto, junto con la inmadurez de la corteza orbitofrontal a la que se le ha atribuido un papel importante en establecer asociaciones entre conducta y consecuencias, ayudan a explicar la menor estimación que hacen los adolescentes ante los riesgos y su preferencia por las conductas que son altamente recompensantes (Galvan et al., 2006).

Con base a lo anterior, se han propuesto 2 posturas principales con respecto al funcionamiento del sistema de recompensa durante la adolescencia (Oliva, 2007):

- a) los modelos centrados en el déficit de la activación de este circuito y
- b) los modelos centrados en la hiperexcitabilidad de este circuito

Los modelos del déficit proponen que hay una disminución de la activación del circuito de recompensa iniciada por la pubertad, por lo que ante ciertas experiencias, habría tasas bajas de liberación de dopamina en el sistema mesolímbico durante el principio de la adolescencia (Tarazi et al., 1999). Por esta razón, los adolescentes tenderían a buscar sensaciones y recompensas mayores en conductas más arriesgadas, en un intento de compensar el déficit dopaminérgico (Spear, 2007).

Los modelos de hiperexcitabilidad coinciden con el anterior en el sentido de que hay un aumento de conductas de riesgo a partir de la pubertad, pero señalan que ésto es debido a la sobreexcitación del circuito mesolímbico dopaminérgico, ya que las recompensas inmediatas ejercen una gran atracción sobre el adolescente (Chambers et al., 2003). Estudios recientes sostienen que la mayor activación mesolímbica se presenta particularmente, en el cuerpo estriado de los adolescentes en comparación con los adultos ante la obtención o anticipación de recompensas y de esta forma han cuestionado los modelos del déficit (Ernst et al., 2006; Galvan et al., 2006). Sin embargo, también hay estudios que respaldan la postura de los modelos del déficit, por lo que estas aproximaciones no han sido concluyentes (Bjork et al., 2004).

Otro modelo adicional, es el modelo trial propuesto por Ernst et al., (2006). De acuerdo con este modelo, la conducta se basa en el equilibrio del circuito cerebral afectivo que está conformado por tres sistemas cerebrales que trabajan de forma conjunta: el sistema aproximativo de recompensa, el sistema evitativo y el sistema regulador (Ernst, et al., 2006).

El sistema aproximativo incluye el estriado ventral y particularmente el núcleo accumbens, que es el encargado de originar las conductas aproximativas. El sistema evitativo subyace en la amígdala, la cual genera impulsos al sujeto para evitar las situaciones amenazantes o dolorosas. Por último, está el sistema regulador, que está integrado por las áreas medial y ventral de la corteza prefrontal y que ejerce un papel de moderador entre esas dos influencias opuestas. Es por ello que, durante la adolescencia la toma de decisiones se muestra sesgada ya que está fortalecido el sistema aproximativo, mientras que los sistemas evitativo y regulador se encuentran inmaduros (Ernst et al., 2006). Cabe señalar que estos modelos suponen cierta simplificación ya que se sabe que la amígdala también está implicada en el aprendizaje apetitivo (Bechara et al., 2003), al igual que el núcleo accumbens está involucrado en el sistema evitativo (Schoenbaum et al, 2003).

En resumen, la coincidencia de estos modelos expuestos es que el periodo de desequilibrio de estos sistemas deberá reducirse conforme haya un mayor fortalecimiento del control cortical y una reducción de la excitabilidad mesolímbica. En otras palabras, proponen que se requiere de la maduración de la corteza

prefrontal para tener un mayor control cortical y regular la conducta de mejor manera.

2. La regulación emocional

Durante los últimos diez años, el interés sobre la regulación emocional se ha venido incrementando en los trabajos de neurociencias debido a la demostración de su relevancia (Gross y Thompson, 2007; Banks et al., 2007). La regulación emocional es un proceso básico para la vida diaria, ya que las personas que pierden la habilidad de auto-regular sus emociones negativas en situaciones estresantes físicas y mentales, pueden correr altos riesgos de presentar psicopatología (Banks et al., 2007).

Actualmente, existen en la literatura variadas definiciones acerca de la regulación emocional, puesto que implica diversos procesos que están en función de ajustar la reactividad emocional y las conductas asociadas con la emoción para lograr una adecuación dentro de un contexto social (Gross y Thompson, 2007; Kappas, 2008). De manera general, la regulación emocional se refiere al proceso de manejar y cambiar la motivación o intensidad de los estados fisiológicos, además de cómo expresamos conductualmente las emociones (Gross y Thompson, 2007).

Uno de los investigadores pioneros en estudiar la regulación emocional fue Gross y su grupo, señalando que la regulación emocional abarca un conjunto de procesos heterogéneos por los cuáles las emociones son reguladas (Gross, 1998; Gross y Thompson, 2007). Ellos explican la regulación emocional con base a un modelo que describe el procesamiento emocional (Gross y Thompson, 2007; Gross y Thompson, 2007). El modelo es conocido como el modelo modal y define a la regulación emocional como un proceso por el cual, los individuos modulan cuáles emociones tienen, cuándo las tienen, cómo la viven y las expresan (Gross, 1998). Este modelo considera en primera instancia el proceso de la apreciación sobre una situación en particular, la cual puede ser real o imaginaria por parte del sujeto. Dicha apreciación se encarga a su vez de dirigir la atención hacia los estímulos que le son relevantes y familiares al individuo para después otorgarle una valencia positiva o negativa (Rolls, 1999; Frijda, 1994; en Ekman y Davidson, 1994; Gross y Thompson, 2007). Finalmente, las respuestas emocionales son generadas por la apreciación e involucran cambios en la experiencia del sujeto, su

conducta y su respuesta a nivel del sistema neurológico. De esta manera, se considera que hay una repetición en la evocación de emociones a causa de un bucle de retroalimentación por la interacción entre la situación, la atención que se otorga a dicha situación, la apreciación de la misma y su respuesta. (Gross y Thompson, 2007) (Ver Figura 2).

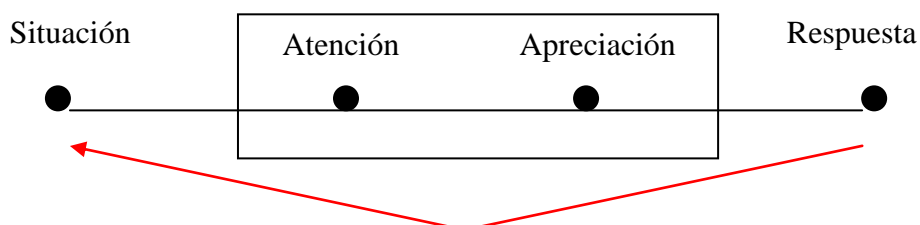


Figura 2. Esquema del Modelo Modal. Tomado de Gross y Thompson (2007).

Adicionalmente, los autores han señalado que existen variadas estrategias para la regulación emocional (Gross, 1998; Gross y Thompson, 2007). Sin embargo, la mayoría de los trabajos se han centrado en estudiar dos de estas estrategias, las cuáles se realizan luego de presentarse la respuesta emocional y son la supresión y la revaloración (Ochsner et al., 2002; Silva, 2005; Banks et al., 2007). La supresión se refiere a la inhibición voluntaria sobre la reacción emocional ante un estímulo, mientras la revaloración se define como la reinterpretación cognitiva que un estímulo emocional evoca para reducir su afecto negativo (Silva, 2005).

Con respecto a las áreas participantes de la regulación emocional, se ha señalado que las áreas implicadas en la supresión emocional son la covarianza entre la actividad de la amígdala y la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC), la corteza prefrontal dorsal medial (DMPFC), la corteza orbitofrontal (OFC), el área subgenual subcallosa del cíngulo anterior (SGACC) y la corteza parietal bilateral inferior (IPC). En cambio, durante la revaloración cognitiva hay una co-variación entre la amígdala con las áreas OFC Y DMPFC (Banks et al., 2007). De esta forma, la co-varación entre la amígdala con la corteza orbitofrontal y la corteza dorsal intermedia prefrontal establece una atenuación de los afectos negativos y predice una revaloración exitosa (Banks et al., 2007).

Otras estrategias de regulación, se centran en los momentos previos a la respuesta emocional y se establecen por ejemplo, evitando situaciones desagradables, o dirigiendo la atención hacia estímulos distractores en una situación desagradable (Gross y Thompson, 2007). Sin embargo, dichas estrategias han sido menos abordadas por los investigadores, probablemente por la dificultad metodológica que pudiera presentar su estudio, o bien si han sido abordadas, no han sido vinculadas directamente con este modelo de la regulación emocional.

Tomando en cuenta los principios básicos de este modelo regulador, algunos otros autores han contribuido en el desarrollo de una visión más amplia y precisa de la regulación emocional (Kappas, 2008; Mauss et al., 2008; Hofer y Eisenberg, 2008). En este sentido, una aportación clave ha sido la distinción de dos niveles de regulación emocional, uno automático y otro voluntario (Kappas, 2008).

El nivel de procesamiento automático implica cualquier aspecto de una emoción en la que no se hace una decisión consciente o en la que no se le presta atención al proceso regulador (Mauss et al., 2008).

Se consideran 4 aspectos característicos de estos procesos automatizados (Bargh y Gollwitzer, 1994):

- 1) Ausencia de conciencia
- 2) Ausencia de intención
- 3) Ausencia de control
- 4) Alta eficiencia

Por otra parte, el otro nivel de regulación es un proceso volitivo subyacente en las funciones ejecutivas y que se basa en el control de la cognición y la regulación de la conducta a través de diferentes procesos cognitivos relacionados entre sí (Hofer y Eisenberg, 2008). Este nivel implica la voluntad de emplear la atención, inhibir o activar conductas, manejar el temperamento, ejercer la planeación para lograr las metas con el propósito de adaptarse (Hofer y Eisenberg, 2008). Dentro de este nivel se encuentra el modelo que se explicó previamente (Gross y Thompson, 2007). Así mismo, en este nivel se puede considerar la aportación de otros autores que utilizan términos distintos a la regulación emocional, pero que hacen referencia a dichos procesos reguladores de las emociones. Tal es el caso de Zelazo et al., (2002) y las funciones

ejecutivas “hot”, Luu et al., (2000) y la auto-regulación, Thomas et al. (2007) y el control cognitivo, además de Hofer y Eisenberg, (2008) y el término “*control bajo esfuerzo*”.

Dentro de este nivel de regulación emocional (voluntario, basado en el control cognitivo de las funciones ejecutivas) se pueden establecer en 2 aspectos claves (Hofer y Eisenberg, 2008):

- a) *La regulación de la conducta asociada con la emoción*
- b) *La regulación de la reactividad emocional*

La primera de ellas implica el realizar ciertas conductas en particular que ayuden a modular alguna emoción desagradable y la segunda se refiere a modular la intensidad con la que se siente una emoción. Algunos autores han señalado que la regulación emocional depende principalmente, del giro del cíngulo anterior además de la corteza prefrontal y sugieren que subyacen en el temperamento (Hofer y Eisenberg, 2008).

El temperamento es entendido como las bases constitucionales (herencia, maduración y experiencia) de las diferencias individuales en la reactividad de auto-regulación en los dominios de afecto, reactividad y atención y el cual recae en el sustrato biológico del giro del cíngulo anterior (Hofer y Eisenberg, 2008). Por su parte, Posner y Rothbart (2007) agregan que las áreas del giro del cíngulo anterior y de la corteza prefrontal ventral lateral (ganglios basales) subyacen a las redes atencionales de esta regulación.

Con base a lo anterior, cabe resaltar que la regulación emocional voluntaria requiere de cierta madurez cerebral subyacente a los distintos procesos reguladores que puedan emplearse con el propósito de activar o inhibir acciones cognitivas o conductuales relacionadas con las emociones (Hofer y Eisenberg, 2008). De este modo, es posible considerar procesos reguladores como el monitoreo de la conducta, el cual se encarga de detectar y evaluar cuando las metas no han sido obtenidas y formular una respuesta alternativa (Zelazo et al., 1997; 2003), aún cuando dicha evaluación implique un involucramiento emocional (Gehring y Willoughby, 2002; Bechara et al., 2000). De esta forma, la conducta alternativa que se produce por una evaluación del monitoreo puede fungir como una forma de regular una emoción, por lo cual se considera como un proceso de regulación emocional en estas circunstancias (Hofer y Eisenberg, 2002). Con base a lo mencionado, es posible pensar, que pudiera haber diferencias en el

proceso de monitorización de la conducta en la adolescencia en comparación con la madurez.

2.1 La regulación emocional durante la adolescencia

Aunque el estudio de la regulación de las emociones en los adolescentes es menor en comparación con el de las funciones ejecutivas (Crone, 2009; Thomas et al., 2007), actualmente pueden encontrarse diversos estudios en la literatura acerca del tema (Garnefski et al., 2002; McRae et al. 2010; Silvers et al., 2012). Entre dichos estudios, se ha reportado que los adolescentes usan con menos frecuencia la estrategia de revaloración que los adultos (Garnefski et al., 2002) o que presentan mayor activación de áreas prefrontales ante la revaloración que los adultos (McRae et al., 2010). No obstante, partiendo de la idea de que los adolescentes presentan ciertas dificultades relacionadas con la elección de conductas, como las de elecciones de riesgo (Oliva, 2007), o las asociadas a fallos del control de impulsos (Steingber, 2008), en el presente trabajo nos hemos centrado en abordar un proceso regulador emocional que pudieran tener una relación con la elección de conductas, como lo es el monitoreo (Holroyd y Coles, 2002). En este sentido, aunque dicho proceso es considerado como una función ejecutiva (Zelazo et al., 2002; Lezak, 2004), al involucrar la participación de contenidos emocionales se puede hacer referencia a la regulación emocional (Hofer y Eisenberg, 2008), como se mencionó en el apartado anterior.

Con respecto al desarrollo del funcionamiento ejecutivo, que no se asocia a la regulación emocional durante la adolescencia, se ha reportado que éste se alcanza a los 16 años de edad. Particularmente, la inhibición y la flexibilidad mental, entre los 13 y 15 años (Huizinga et al., 2006), el monitoreo a los 16 años (LaDouceur et al., 2007) y la memoria de trabajo a partir de los 12 años (Crone, 2009).

Por otra parte, el proceso del monitoreo de la conducta que se relaciona con la regulación emocional, suele ser evaluado con la tarea de apuesta de Iowa (*Iowa gambling task*) la cual es una tarea de toma de decisiones que involucra aspectos emocionales y se relaciona con la maduración de la corteza ventromedial y la órbitofrontal (Damasio, 1994). Algunos autores argumentan que las tareas de *apuesta* pueden generar un impacto emocional que se relaciona con la retroalimentación ante las pérdidas y ganancias monetarias (Gehring y

Willoughby, 2002; Masaki et al., 2006). Dicho impacto emocional depende de la apreciación del sujeto, la cual involucra cambios en la experiencia del sujeto, su conducta y su respuesta a nivel del sistema neurológico (Gehring y Willoughby, 2002; Damasio, 2000). Es por ello que, actualmente se considera que el monitoreo se vincula con la regulación emocional (Ladouceur et al., 2010).

La tarea de *Iowa* también se ha aplicado en poblaciones adolescentes para evaluar el monitoreo de la conducta (Huizenga et al., 2007; Crone, 2009). En un estudio se reportó que la ejecución de esta tarea mejora conforme al incremento de los años a partir de la adolescencia (Crone et al., 2004). Los adolescentes de 13 a 15 años ejecutan mejor que los adolescentes de 10 a 12 años, eligiendo un 60% de las cartas buenas, mientras que los de menor edad (10 a 12) eligen un 55% de estas cartas. Por su parte, los jóvenes adultos entre 18 a 25 años eligen el 75% de las cartas buenas y comienzan a elegir las de manera más temprana que los más jóvenes (Crone et al., 2004). Otros estudios señalan que hay un mejoramiento significativo en la ejecución de esta prueba a partir de los 14 a los 17 años (Hooper et al., 2004). En resumen, los estudios sobre toma de decisiones evaluados con la tarea de apuesta de *Iowa* encuentran pocos cambios a partir de los 17 años de edad. Así mismo, sugieren que se debe especialmente, a la percepción de los riesgos derivados de algunas conductas o a la evaluación de los costos y beneficios de las actividades, de forma que los adolescentes muestran una capacidad similar a la de los adultos (Steinberg, 2005).

Con base a lo anterior, podemos concluir que las funciones ejecutivas de tipo abstracto parecen ser alcanzadas a partir de los 16 años de edad (Huizenga et al., 2006; Crone, 2009) y el monitoreo de la conducta asociado con la regulación emocional ha mostrado resultados conductuales semejante a los adultos desde los 17 años de edad con base al juego de apuesta de *Iowa* (Hooper et al., 2004; Thomas et al., 2007; Crone, 2009).

2.2 La evaluación de la regulación emocional y el EEG

La regulación emocional puede ser evaluada de diversas formas y en diferentes ámbitos ya sea clínicos, de investigación etc. En las neurociencias, una de las principales técnicas que se utilizan para estudiar la regulación emocional es la resonancia magnética funcional (RMNf) y más recientemente el análisis del electroencefalograma (EEG). Cada una de estas técnicas nos puede aportar

distinta información referente al fenómeno de estudio en el que se centre la investigación (la regulación emocional por ejemplo).

La RMNf nos puede proporcionar la localización de las estructuras de mayor activación durante la estrategia de revaloración para la regulación emocional (Ochsner et al., 2002) o ante una prueba de toma de decisiones (Blair et al., 2006). Mientras que, las medidas electrofisiológicas como el EEG, reflejan la actividad eléctrica cerebral que está relacionada con el fenómeno de estudio. Por medio de un análisis del EEG se puede identificar el nivel de sincronía en el que se puede presentar dicha actividad eléctrica cerebral entre sus diferentes áreas. Así, algunos estudios sobre la regulación emocional evaluada con EEG han reportado que hay una asociación entre la actividad asimétrica electroencefalográfica frontal y la reactividad emocional tanto positiva como negativa (Kim y Bell, 2006). Particularmente, la activación asimétrica del EEG frontal derecho ha sido asociada con emociones de valencia negativa, mientras que la activación asimétrica frontal izquierda se ha vinculado con las emociones de valencia positiva (Kim y Bell, 2006). Otros estudios no reportan diferencias entre la actividad hemisférica y emociones, pero sí su asociación con la regulación emocional (Dennis y Solomon, 2010).

Algunas de las ventajas de utilizar el registro de EEG y su análisis como método de estudio, es que proporciona una medida continua del procesamiento entre un estímulo y una respuesta, haciendo posible determinar cuál es el estado o los estados de procesamiento que son afectados por una manipulación experimental específica (Luck, 2005). Así mismo, proporciona una medición en línea del procesamiento de un estímulo aún cuando no hay respuesta conductual (Luck, 2005). Además, no es un método invasivo y proporciona una excelente resolución temporal, por lo que tiene una gran ventaja en procesos que son ejecutados en milisegundos como en el caso de algunos procesos de la regulación emocional incluyendo entre éstos al monitoreo y al control atencional. Estas ventajas pueden ser aprovechadas para estudiar distintos aspectos de la regulación emocional utilizando distintos métodos de análisis sobre el registro del EEG.

2.3 Los potenciales relacionados con eventos (PREs)

Para analizar el la actividad registrada en el EEG se pueden utilizar distintas técnicas como los potenciales relacionados con eventos (PREs), la densidad espectral de la potencia (PSD), las oscilaciones relacionadas con eventos (EROs), entre otras. Particularmente, se describirá latécnica de análisis que se implementó en la realización de esta tesis.

El término potenciales relacionados con eventos (PREs) es propuesto para designar la clase general de potenciales que se muestran estables en el tiempo y que son asociados con un evento definido y referenciado (Luck, 2005). Es una técnica de análisis que se aplica sobre el EEG y que refleja las fluctuaciones de voltaje que se asocian temporalmente a estímulos sensoriales, motores, o sucesos cognitivos y emocionales (PREs) (Periáñez y Barceló, 2004; Kim y Bell, 2006). Estas fluctuaciones de voltaje consisten en una secuencia de deflexiones positivas y negativas las cuáles se conocen como ondas, picos o componentes (Luck, 2005). La amplitud de la actividad eléctrica cerebral proporciona un indicador de la extensión de la actividad neural. La latencia proporciona información sobre el curso temporal de dicha activación y la distribución por el cuero cabelludo aporta información del gradiente de voltaje de un componente en una temporalidad concreta y suele relacionarse con las estructuras anatómicas subyacentes (Periáñez y Barceló, 2004). El origen de los PREs se asocia con la reorganización sincrónica parcial de la actividad cerebral continua o espontánea reflejada por los potenciales postsinápticos (Luck, 2005).

Existen varios componentes descritos ampliamente en la literatura relacionados con distintos procesos cognitivos, aunque por el interés de este trabajo se mencionarán particularmente solo los que se han asociado con el monitoreo.

Dentro de estos componentes electrofisiológicos se encuentra la negatividad relacionada con el error (error related negativity ERN), la negatividad relacionada con la retroalimentación (feedback related negativity FRN), y la negatividad fronto-medial (medial fronto negativity MFN) (Gehring y Willoughby, 2002; Nieuwenhuis et al, 2004; Holroyd et al., 2004).

Referente al ERN, se ha descrito que es un componente ampliamente asociado con la monitorización y la autorregulación, también está involucrado en la planeación de acciones motoras y en la inhibición de respuestas habituales

(Herrmann y Knight, 2001). La mayor amplitud del ERN se observa en la parte fronto-central y se presenta aproximadamente a los 50 ms luego de una respuesta errónea que realiza un sujeto. El origen de el ERN se considera en la corteza del cíngulo anterior ACC (Nieuwenhuis et al., 2004).

El FRN ha sido relacionado con la retroalimentación negativa indicando un error o un resultado indeseable. Se presenta en los sitios fronto-central y su amplitud máxima sucede aproximadamente a los 250 ms seguidos de la retroalimentación (Dunning y Hajcak, 2007). Tanto el ERN y el FRN son una deflexión negativa provocada luego de una ejecución de error (ERN) o una retroalimentación negativa (FRN) por lo que han sido asociados funcional y topográficamente, y se ha sugerido que ambos pudieran ser generados por el mismo sistema de acción motora asociado al ACC (Holroyd y Coles, 2002; Dunning y Hajcak, 2007). Sin embargo, algunas de sus diferencias son la temporalidad de aparición ya que el ERN se presenta entre los 50 ms luego de una ejecución y el FRN se presenta aproximadamente entre los 250 ms luego de la retroalimentación negativa (Dunning y Hajcak, 2007). Otra de de sus diferencias radica en que el ERN es sensible al error, mientras que el FRN refleja una evaluación binaria entre resultados buenos y malos (Masaki et al., 2006). Sobre el FRN se profundizará con mayor detalle en el apartado 2.6 de esta tesis.

Por otro lado, el MFN es descrito por algunos autores de manera semejante al FRN y ha sido asociado al impacto motivacional que proporciona la retroalimentación (Gehring y Willoughby, 2002). Sin embargo, ha sido señalado que la diferencia entre el MFN y el FRN puede subyacer conforme la dependencia del aspecto más saliente que se le proporcione en la retroalimentación, ya sea resaltando los errores de ejecución (afecta mayormente a MFN) o a la pérdida del resultado (afecta mayormente a FRN). De esta manera, se considera que ambos componentes son manifestaciones del mismo sistema neural cognitivo (Nieuwenhuis et al., 2004). Así mismo, se considera que el MFN también es generado o modulado por el ACC (Yeung y Sanfey, 2004).

Por último, otros de los componentes que han sido asociados con el monitoreo y la toma de decisiones son el P300 (P3a y P3b), el potencial N200 y la negatividad procedida a un estímulo (SPN) (Luu, et al., 2000; Herrmann y Knight 2001; Periáñez y Barceló, 2004; Martínez-Selva, et al., 2006; Masaki et al., 2006). Sin embargo, el P300 y el N200 también han sido relacionados con otros procesos

que no son particulares a la toma de decisiones (Periáñez y Barceló, 2004; Folstein y Van Petten, 2008). Por su parte, el potencial SPN ha sido asociado con el involucramiento emocional que precede al impacto motivacional y el monitoreo de la retroalimentación y se le ha atribuido su origen al ACC (Masaki et al., 2006). Este componente se presenta entre una respuesta proporcionada y el tiempo de espera del resultado, y su mayor amplitud se muestra en la parte frontal (Masaki et al., 2006).

2.4 El monitoreo de la conducta en la toma de decisiones

El monitoreo forma parte del proceso de la toma de decisiones e implica la habilidad de detectar y evaluar cuando una meta no ha sido obtenida o cuando las submetas no progresan hacia la meta deseada para formular y llevar a cabo una alteranativa para el error (Zelazo et al., 1997; 2003), incluso cuando dicha evaluación implique un involucramiento emocional (Gehring y Willoughby, 2002). En este sentido, el monitoreo se relaciona con la experiencia y el aprendizaje sobre las consecuencias positivas y negativas para adecuar su respuesta a las demandas ambientales (San Martín, 2012). Con base a lo anterior, es preciso entender en primera instancia, cómo es que el monitoreo se realiza durante una toma de decisiones.

La toma de decisiones es una actividad continua del ser humano en todos los ámbitos de la vida cotidiana e implica un proceso de elección entre varias opciones. Puede ser una tarea muy simple, pero a veces resulta tan complejo que puede convertirse en una preocupación importante para el sujeto que lo realiza (Martínez-Selva et al., 2006). Se sabe que la toma de decisiones es una función ejecutiva puesto que, pone en juego numerosos procesos cognitivos como el procesamiento de estímulos presentes en la tarea, la estimación cognitiva, la memoria de trabajo y el mismo monitoreo, entre otros (Martínez-Selva et al., 2006). Así mismo, la toma de decisiones involucra factores afectivos y cognitivos (Damasio, 1994, Bechara et al., 1997; Bechara, 2005; Gray et al., 2002). Los aspectos cognitivos como la representación de imágenes y memoria de trabajo y los aspectos afectivos como la ansiedad o incertidumbre generadas en cierto tipo de toma de decisiones (Bechara et al., 1997, Martínez-Selva et al., 2006, Rolls, 2000).

De esta forma, se considera que las tareas de juego de apuesta implican la participación tanto cognitiva como afectiva debido al impacto emocional que proporcionan las pérdidas y las ganancias (Bechara et al., 1997; Gehring y Willoughby, 2002).

Adicionalmente, se consideran dos vías neurales para la toma de decisiones (Bechara, 2005):

1) Sistema impulsivo (*botton-up*). Considerado como un mecanismo afectivo que influye a la cognición para producir una respuesta automática, rápida y visceral y que está gobernado por estructuras como la amígdala, hipotálamo y estriado.

2) Sistema reflexivo (*top-down*). El mecanismo reflexivo cognitivo que inhibe la respuesta preferente. Establece una elección luego de hacer una reflexión y está gobernada por estructuras como la región ventromedial de la corteza prefrontal e incluye al cíngulo anterior y la base del cerebro y por medio del pensamiento, activa vías hacia la memoria (Figura 3).

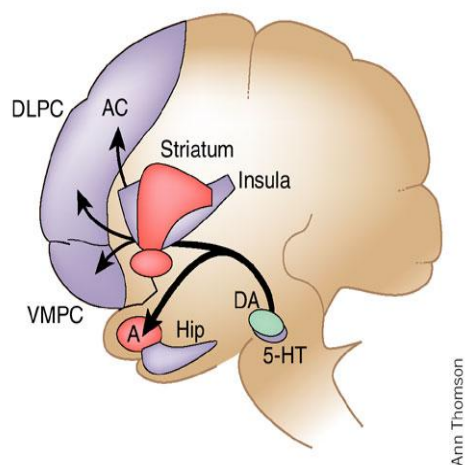


Figura 3. El sistema impulsivo y reflexivo. (Tomado de Bechara, 2005).

Nota: En color rojo se muestran las estructuras del sistema impulsivo y en color azul estructuras del sistema reflexivo.

Por otra parte, algunos autores basados en modelos neuro-economistas consideran la toma de decisiones como un proceso que es dependiente prioritariamente de las condiciones ambientales, además de las cerebrales (Rustichini, 2009). Entre las condiciones ambientales que se consideran tener mayor relevancia al momento de realizar una toma de decisiones se encuentran el

número de opciones de elección, la probabilidad de resultados y las consecuencias de elección (Kahneman y Tversky, 1979; Rustichini, 2009).

La teoría de perspectiva (*Prospect theory*) particularmente señala 3 condiciones ambientales que influyen la toma de decisiones (Kahneman y Tversky, 1979):

1) *Las decisiones bajo riesgo*. Basada en la probabilidad que tiene el sujeto de obtener la consecuencia deseable. Esta condición depende del número finito de opciones que tiene y conoce el sujeto por lo tanto, puede saber la probabilidad de obtener la consecuencia deseable considerando la probabilidad de resultados posibles. Un ejemplo de este tipo de toma de decisiones es la lotería, donde el sujeto conoce las probabilidades que tiene de ganar.

2) *La toma de decisiones con incertidumbre*. En esta condición el sujeto no conoce con exactitud las probabilidades que tiene de ganar y su toma de decisiones se ve basada en la vaguedad o imprecisión, y de esta manera, involucra una elección riesgosa. Por ejemplo, las apuestas referentes a un equipo de deportes.

3) *La toma de decisiones en base al valor de la utilidad*. En esta condición los sujetos tienden a tomar su decisión con respecto al valor subjetivo de una consecuencia de ganancia o de pérdida (utilidad).

Por otra parte, se ha sugerido que la toma de decisiones involucra distintas estructuras dependiendo del tipo de decisión que se implique (Blair et al., 2006). En un estudio realizado por Blair et al. (2006) se le aplicó a un grupo de sujetos una prueba de toma de decisiones con tres condiciones distintas. Las modalidades consistían en que el sujeto tenía que elegir una de dos opciones que se le presentaban en cada ensayo plasmado en un monitor de una computadora. Los resultados que obtenían siempre fueron clasificados dentro de la siguiente manera: condición de resultados deseables (gana-x/gana-y), condición de resultados neutrales (gana-x/pierde-y) y condición de resultados indeseable (pierde-x/pierde-y).

La tarea implicaba estímulos de figuras asociados aleatoriamente a una cantidad (-900, -700, -500, -300, -100, 100, 300, 500, 700 y 900). Las instrucciones fueron que tenían que elegir uno de dos objetos los cuales algunos les darían puntos y otros les restarían puntos y que el objetivo del juego era ganar el mayor puntaje posible. Cada prueba era presentada por un par de

estímulos durante 1.5 seg en 4 posibles ubicaciones en un monitor izquierda-arriba, derecha-abajo, derecha-arriba e izquierda-abajo. Se les proporcionaba una retroalimentación durante un segundo, la cual les señalaba la cantidad de dinero que tenían en cada ensayo. Los resultados reportados mostraron que la parte dorsal cíngulo anterior (Acd) mostró mayor respuesta ante elecciones indeseables, es decir ante las opciones pierde-pierde y también, cuando las cantidades a elegir eran más cercanas una de la otra. Por su parte, la corteza prefrontal ventromedial (vmPFC) mostró mayor respuesta ante elecciones deseables, es decir, opciones que implicaban una ganancia. De esta manera, los autores concluyen que el Acd es mayormente requerido ante la toma de decisiones indeseables y la vmPFC es mayormente activada ante la toma de decisiones asociadas con recompensas.

Otros estudios referidos en la tabla 1, han relacionado también diversas estructuras además del Acd y el vmPFC con la toma de decisiones y han sido asociadas a procesos particulares de ésta función. Con base a lo anterior, se sugiere que la toma de decisiones involucra la participación de distintas estructuras cerebrales que realizan diversas funciones en dependencia al tipo de decisión que se implique (Blair et al., 2006).

Así mismo, se considera que la toma de decisiones abarca una serie de procesos que pueden ser distinguidos en 3 fases temporales principales (Ernest y Paulus., 2005):

- 1) La formación de las opciones de preferencia, basada en las áreas de corteza prefrontal dorsolateral (CPDL) y corteza prefrontal orbital (CFO).

- 2) La selección y ejecución de una acción, basada en las áreas del giro del cíngulo anterior (CCA), estriado ventral, amígdala, corteza prefrontal ventrolateral (CPVL) y corteza prefrontal ventromedial (vmPFC).

- 3) La experiencia y evaluación del resultado involucrando el monitoreo, basada en CPVL y vmPFC.

De esta manera, el monitoreo es procesado durante la tercera fase temporal de la toma de decisiones y es entendido como la evaluación y el ajuste de las respuestas que se vuelve a generar en la etapa uno, para lograr un objetivo en particular (Luu et al., 2000; Ernest y Paulus., 2005). Debido a lo anterior, es que las tareas en las que se evalúa el monitoreo de la conducta generalmente, son pruebas que implican la toma de decisiones (Bechara 2005; Blair et al., 2006;

Gehring y Willoughby, 2002). Particularmente, en las pruebas de toma de decisiones con pérdidas y ganancias monetarias como las de juego de apuesta, particularmente el monitoreo se ha asociado con el momento de la retroalimentación y a la actividad electrofisiológica del componente FRN (Gehring y Willoughby, 2002; Masaki et al., 2006; Ladoucer et al., 2010). Mientras que, los ajustes conductuales dependientes del monitoreo estriban en la experiencia y el aprendizaje sobre las probabilidades de pérdidas y ganancias (Holroyd y Coles, 2002; Nieuwenhuis et al., 2002). De esta forma, tanto el aprendizaje como el monitoreo son relevantes para adecuar la conducta al ambiente (Luu et al., 2000; Holroyd y Coles, 2002). Sin embargo, también hay tareas con pérdidas y ganancias monetarias que no implican un aprendizaje, de esto se abundará en el siguiente apartado.

Tabla 1. Resumen del sistema neural involucrado en la teoría de perspectiva
(Modificado de Trepel et al., 2005).

COMPONENTE	CARACTERÍSTICA	ÁREAS CEREBRALES	SISTEMA DE NEUROTRANSMISORES
VALOR DE LA FUNCIÓN	REPRESENTACIÓN DEL VALOR		
	ANTICIPACIÓN DE	ESTRIADO VENTRAL! ACC	DA INCREMENTO
	ANTICIPACIÓN DE PÉRDIDA	AMIGDALA	
	EXPERIENCIA DE GANANCIA	ESTRIADO DORSAL/VENTRAL VMPFC	
	EXPERIENCIA DE PÉRDIDA	ACC AMÍGDALA ESTRIADO DORSAL	DA DECREMENTO
	AVERSION A LA PÉRDIDA	AMÍGDALA	NA
FUNCIÓN DE PONDERACIÓN	SENSIBILIDAD DISMINUIDA!		
	BAJA ACTIVACIÓN	ESTRIADO VENTRAL EXPECTATIVA	DA EXPECTATIVA
	ALTA ACTIVACIÓN	AMIGDALA MIEDO	
	INCERTIDUMBRE!		5-HT (IMPULSIVIDAD)
REPRESENTACIÓN	FORMACIÓN	DLPFC !ACC	DA
	CORRECCIÓN	DLPFC !VLPFC (INHIBICIÓN)	5-HT

Nota: Acc: corteza del cíngulo anterior, VMPFC: corteza prefrontal ventromedial, VLPFC: corteza prefrontal ventrolateral, DLPFC: corteza prefrontal dorsolateral, DA: dopamina, NA: noradrenalina, 5-HT: serotonina

2.5 El aprendizaje

Una de las características principales del sistema nervioso subyace en control de la conducta adaptativa, la cual implica la habilidad de evaluar los resultados de las acciones propias y usar esta información para optimizar la dirección de las siguientes conductas (Holroyd y Coles, 2002; San Martín et al., 2010; Eppinger et al., 2008; Kreussel et al., 2012). En otras palabras, la conducta adaptativa implica el monitoreo para evaluar las conductas propias o de otros y conforme al aprendizaje sobre las consecuencias positivas y negativas obtenidas dirigir la conducta futura (Holroyd y Coles, 2002; Cohen et al., 2007; San Martín, 2012). Este modelo de aprendizaje está basado en los principios propuestos por Thorndike (1911) y señala que las acciones que son más probables de repetirse son aquéllas a las que les sigue una sensación de satisfacción, en cambio las acciones a las que les sigue una sensación de insatisfacción son menos probables que se repitan (Thorndike, 1911).

Dentro del marco de referencia del aprendizaje, algunos autores distinguen entre el aprendizaje declarativo y no declarativo (Rustemeirer et al., 2013). El aprendizaje declarativo es aquel en el que se establece la asociación directa entre dos estímulos (Rustemeirer et al., 2013) y se relaciona con la activación hipocampal, principalmente (Schwabe et al., 2012). Un ejemplo de este aprendizaje es la asociación entre algún estímulo clave con cierto resultado y de esta forma, el aprendizaje es consciente (Rustemeirer et al., 2013).

Por otra parte el aprendizaje no declarativo es aquel que depende de la repetición continua de los estímulos (Rustemeirer et al., 2013) y se relaciona con la actividad estriatal, esencialmente (Schwabe et al., 2012).

En este sentido, el aprendizaje no declarativo dentro de las tareas depende de la manipulación de las probabilidades de las pérdidas y las ganancias generando un sesgo, así como se presentan en las *tareas de aprendizaje por probabilidades (probabilistic learning task)* (Holroyd y Coles, 2002; Nieuwenhuis et al., 2002; Santesso et al., 2008). De esta manera, el participante puede predecir el resultado más probable y así, elegir la opción más conveniente (Holroyd y Coles, 2002).

Por su parte, las pruebas de *juego de apuesta (gambling task)* con pérdidas y ganancias monetarias que no sesgan la probabilidad de los resultados, es decir que hay 50% de probabilidades de perder y de ganar no se establecen como

pruebas con aprendizaje (Yeung y Sanfey, 2004; Santesso et al., 2011; Zottoli et al., 2011). En este sentido, los participantes eligen sólo entre las opciones que se le presentan, las cuales generalmente, implican una cantidad de baja y otra de alta magnitud sin tener conocimiento predecible de los resultados. Por esta razón, se considera que la elección de la cantidad de alta magnitud es una conducta de riesgo bajo estas circunstancias, mientras que la elección de baja magnitud implicaría una de menor riesgo (Yeung y Sanfey, 2004; Santesso et al 2011; Zottoli et al., 2011).

2.6 Monitoreo de la conducta en adolescentes

Con respecto a los adolescentes, el monitoreo de la conducta ante pruebas con aprendizaje ha sido estudiada principalmente con la tarea de apuesta de *Iowa* como ya se mencionó previamente. Al respecto se ha reportado que se encuentran pocos cambios conductuales a partir de los 17 años de edad en relación con los adultos, al elegir primordialmente, opciones ventajosas (Crone et al., 2004). En este sentido, la prueba de apuesta de *Iowa* fue diseñada por Damasio (1994) y consiste en una prueba que simula un juego de apuesta de casino en el que, los participantes deben elegir de entre 4 mazos de cartas, aquéllos que les dejen mayores ganancias de dinero simbólico y evitar los mazos que les quiten sus ganancias. De esta forma, esta prueba puede ser considerada una prueba con aprendizaje, ya que las probabilidades de ganancia de cada mazo fueron manipuladas y deben de ser descubiertas por el sujeto a través de los ensayos, aunque no siempre se tenga un manejo conceptual de dicho aprendizaje (Bechara et al., 1997).

No obstante, el monitoreo de la conducta ante pruebas de *juego de apuesta* sin aprendizaje, es decir en las que se presenta la misma probabilidad de pérdidas y ganancias y que, por ende se puede medir la conducta de riesgo al considerar las elecciones de alta magnitud, ha sido escasamente estudiada en poblaciones adolescentes (Zottoli et al., 2011). Solo un estudio al respecto reportó en un trabajo se reporta la ausencia de diferencias entre adolescentes y adultos con base a la cantidad de elecciones de alta y baja magnitud (Zottoli et al., 2011). Así mismo, estos pocos estudios más que enfocarse en la ejecución conductual, se han centrado principalmente en la actividad neural subyacente a la evaluación

de los resultados ante la retroalimentación, asociada al componente FRN (*feedback-related negativity*) (Santesso et al., 2011; Crowley et al., 2013).

2.7 El componente FRN

Como ya fue señalado previamente, uno de los componentes que se ha relacionado ampliamente con el monitoreo de las conductas es el componente FRN (Dan LaDouceur et al., 2007; Dunning y Hajcak, 2007). Una de las ventajas de evaluar el componente FRN sobre el ERN (mencionado anteriormente) sobretodo en poblaciones adolescentes, radica en el hecho de que el componente FRN depende de la retroalimentación y no de una ejecución de error que requiera la autoevaluación (Dunning y Hajcak, 2007). Así, el componente FRN puede ser inducido por la retroalimentación en las tareas de juego como se ha señalado (Gehring y Willoughby, 2002).

El componente FRN es una respuesta de la actividad eléctrica cerebral (PREs) que se presenta luego de una retroalimentación y que muestra mayor amplitud por la percepción de un resultado que es peor del esperado (Holroyd y Coles, 2002; Crowley et al., 2013). Es un componente negativo y muestra su mayor amplitud en los sitios fronto-centrales y presenta su pico máximo entre los 200 y 300 ms, aproximadamente (Holroyd y Coles, 2002; Cohen et al., 2007; Dunning y Hajcak, 2007; Walsh y Anderson, 2011). El componente FRN ha sido relacionado con la actividad del cíngulo anterior, el núcleo accumbens y el sistema dopaminérgico, principalmente y está asociado con la teoría del aprendizaje por reforzamiento (Holroyd y Coles, 2002), así como al monitoreo (Ladouceur et al., 2010; Hämmerer et al., 2011) y al impacto emocional (Gehring y Willoughby, 2002).

La teoría de aprendizaje por reforzamiento (teoría-RL) sostiene que se utilizan las señales de recompensa para guiar la selección de la acción mediada por las áreas motoras del cíngulo. Está fundamentada por la evidencia de la actividad del sistema dopaminérgico, la cual tiene breves incrementos y decrementos ante una serie de eventos que se presentan continuamente. Las neuronas dopaminérgicas del área tegmental ventral parecen estar relacionadas con la desviación de un resultado gratificante de una predicción durante el aprendizaje (Holroyd y Coles, 2002). Según la teoría, la señal de error ante una recompensa negativa indica que los resultados son peores de los esperados por el sujeto. Esta señal, provoca un decremento fásico en la actividad neural

dopaminérgica que es recibida en el cíngulo anterior a través del área tegmental ventral y de esta manera, se produce un FRN por la desinhibición en las dendritas de las neuronas motoras (Holroyd y Coles, 2002). Es decir, ante el incumplimiento de una expectativa positiva, se genera el componente FRN. Por el contrario, en la expectativa negativa y un resultado positivo, lo cual indica que los resultados son mejores de los esperados, se ha observado un aumento fásico en la actividad del sistema neuronal dopaminérgico, el cual reduce la amplitud de FRN por la inhibición de las dendritas motoras de la corteza del cíngulo anterior ACC (Holroyd et al., 2004).

No obstante, también se han propuesto otras interpretaciones sobre el componente FRN (Gehring y Willoughby, 2002; Ladoucer et al., 2010; Hämmerer et al., 2011). Tomando en cuenta que se considera que las pruebas de juego de apuesta implican un involucramiento emocional con base a las pérdidas y ganancias monetarias (Bechara et al., 1997; Zelazo et al., 2002; Gehring y Willoughby, 2002), se ha sugerido que la amplitud del FRN refleja el impacto emocional de los resultados y que puede afectar la toma de decisiones siguiente, provocando elecciones de alta magnitud por parte de los sujetos (Gehring y Willoughby, 2002).

Retomando lo anterior, aunque pudieran parecer opuestas las dos posturas teóricas mencionadas (la teoría del reforzamiento y el impacto emocional), no necesariamente tendrían que ser excluyentes, ya que si bien la teoría por reforzamiento ha sugerido que los sujetos ante una prueba de *aprendizaje por probabilidades* pueden modificar su expectativa con base a las probabilidades de los resultados (Holroyd y Coles, 2002; Holroyd et al., 2004; Nieuwenhuis et al. 2002), es posible también, que esta expectativa genere un mayor impacto emocional sobre el sujeto cuando recibe un resultado que es contrario a lo esperado (Gehring y Willoughby, 2002).

Por otra parte, el estudio del componente FRN en poblaciones con adultos ha sido ampliamente abordado (Holroyd y Coles, 2002; Nieuwenhuis et al., 2004; Yeung y Sanfey, 2004; Hajcak et al., 2006; Bellebaum y Daum, 2008; San Martín, 2012; Walsh y Anderson, 2012). Sin embargo, la población adolescente *en comparación con la de* adultos, ha sido escasamente estudiada en tareas con aprendizaje y sin aprendizaje.

Hasta donde sabemos, solo hay un estudio en la literatura que estudia las diferencias en el FRN asociadas con la edad y que incluyen adolescentes comparados con adultos ante una prueba con aprendizaje (Hämmerer et al., 2011). La investigación descrita estuvo conformada por un grupo de niños (9 -11 años), un grupo de adolescentes (13- 14 años), un grupo de adultos (20 – 30 años) y un grupo de adultos mayores (65 -75 años). Los autores reportaron que se presentó una mayor amplitud del componente FRN ante pérdidas y ganancias sólo por parte del grupo de niños en comparación con los demás grupos. Con respecto a los adolescentes, se reportó que tanto su conducta como la actividad del componente FRN son más semejantes a las de los adultos en comparación con los niños y los adultos mayores (Hämmerer et al., 2011).

Con respecto al estudio del componente FRN ante tareas de *juego de apuesta* sin aprendizaje en poblaciones de adolescentes comparado con adultos, solo hay dos estudios en la literatura hasta donde sabemos (Santesso et al., 2011; Zottoli et al., 2011). Los resultados de ambos estudios no obtuvieron resultados coincidentes, ya que sólo uno de éstos reportó diferencias entre adolescentes y adultos, con una mayor amplitud del componente FRN por parte de los adolescentes (Zottoli et al., 2011), mientras que el otro estudio no encontró estas diferencias (Santesso et al., 2011). Los autores que encontraron diferencias sugieren que los adolescentes presentan una mayor sensibilidad hacia la retroalimentación externa en comparación con los adultos (Zottoli et al., 2011). Los investigadores señalan que sus resultados pueden deberse a las características individuales de los participantes, como la sensibilidad hacia la recompensa (Santesso et al., 2011).

Por otro lado, un estudio reciente reportó un decremento en la amplitud del FRN conforme se tiene mayor edad dentro de la etapa adolescente (Crowley et al., 2013). El estudio comparó edades de tres grupos adolescentes de 10-12, 13-14 y 15-17 años, en una tarea de *juego de apuesta* sin aprendizaje reportando una mayor amplitud del componente FRN en los grupos con menor edad (Crowley et al., 2013). No obstante, el estudio mencionado no se centró en comparar los adolescentes con los adultos, por lo que tampoco reportó resultados a nivel conductual, ni electrofisiológico entre estas dos poblaciones (Crowley et al., 2013).

Por otra parte, con base a la estrecha asociación entre el componente FRN y el monitoreo que ha sido atribuido por diversos autores (Ladoucer et al., 2010; Hämmerer et al., 2011), varios estudios han tratado de relacionar la amplitud del componente FRN con la adaptación de las elecciones conductuales conforme al aprendizaje (Bellebaum y Daum, 2008; Salier et al., 2010). En este sentido, algunas investigaciones han reportado cambios en la amplitud del FRN asociados con cambios conductuales conforme se da el aprendizaje (Holroyd y Coles, 2002; Bellebaum y Daum, 2008; Salier et al., 2010). Sin embargo, no todas las investigaciones han sido consistentes con estos reportes, por lo que también se han expuesto resultados de adaptación conductual con base al aprendizaje, independientemente de los cambios en el componente FRN (Yeung et al., 2005; Bellebaum et al., 2010; Walsh y Anderson, 2011). Dichas inconsistencias mantienen abierto el debate teórico acerca de la relación entre el FRN y la conducta.

Adicionalmente, es conveniente resaltar que diversos autores han señalado que existen varios factores que pueden influir en el procesamiento de la retroalimentación externa y que pueden verse reflejados por cambios de amplitud en el componente FRN (Luu et al., 2000; Holroyd et al., 2004; Nieuwenhuis et al., 2004; Santesso et al., 2011). Entre estos factores se encuentran la alta sensibilidad a la recompensa (Santesso et al., 2011), el aprendizaje (Holroyd y Coles, 2002), la expectativa asociada con el contexto (Holroyd et al., 2004) y la apreciación asociados con la valoración binaria de las pérdidas y las ganancias monetarias (Gehring y Willoughby, 2002), entre otras.

En resumen, tanto las características del componente FRN como la respuesta conductual ante tareas *juego de puesta* sin aprendizaje por parte de los adolescentes en comparación con los adultos, no han sido dilucidadas del todo ya que solo 2 estudios hay al respecto y sus resultados no fueron coincidentes. De igual manera, no se sabe aún cómo es la adaptación conductual de los adolescentes en comparación con los adultos ante este tipo de tareas de *juego de apuesta* con aprendizaje (*aprendizaje por probabilidades*) cuando se presentan variaciones en los sesgos de probabilidad. Es decir, cuando en la tarea de *juego de apuesta* hay mayor sesgo de ganancias que de pérdidas y viceversa. Tampoco, se conoce como puede variar la amplitud y la latencia del FRN ante

estos cambios de probabilidad en poblaciones adolescentes en comparación con adultos.

El presente trabajo se centró en estudiar las diferencias entre adolescentes y adultos en el desempeño de una tarea de *juego de apuesta* sin aprendizaje (iguales probabilidades de pérdidas y ganancias) y con aprendizaje (*aprendizaje por probabilidades*) y latencia y amplitud del componente FRN ante la retroalimentación de las pérdidas y ganancias en cada una de las condiciones.

Adicionalmente, se consideraron las características de los participantes mediante una escala de impulsividad y un cuestionario sobre la sensibilidad a la recompensa y el castigo y su correlación con el desempeño conductual en la tarea en cada condición y la amplitud y latencia del componente FRN.

3. Planteamiento del problema

Se ha sugerido que las dificultades en las relaciones interpersonales, sociales y en las conductas de riesgo que presentan los adolescentes podrían estar relacionadas con dificultades en la regulación emocional.

La regulación emocional implica la voluntad de emplear la atención, inhibir o activar conductas, manejar el temperamento, ejercer la planeación para lograr las metas con el propósito de adaptarse (Gross y Thompson, 2007; Hofer y Eisenberg, 2008). Dentro de este marco, puede considerarse el monitoreo de la conducta que se define como la habilidad de detectar y evaluar cuando una meta no ha sido obtenida para formular una alternativa (Zelazo et al., 1997; 2003), incluso cuando haya un involucramiento emocional (Gehring et al., 2002; Bechara et al., 2000).

Una forma de evaluar el monitoreo de la conducta puede ser por medio de las tareas de apuesta (gambling task) con pérdidas y ganancias monetarias, las cuales pueden generar un involucramiento emocional (Bechara et al., 1997; Gehring y Willoughby, 2002). Así mismo, las tareas de apuesta pueden presentar la implicación de aprendizaje al sesgar las probabilidades de pérdidas y ganancias (probabilistic reinforcement learning) o la ausencia del aprendizaje, manteniendo la equidad en el número de pérdidas y ganancias. De esta forma, el aprendizaje permite realizar elecciones ventajosas de alta y baja magnitud dependiendo de las probabilidades. Mientras tanto, la ausencia de aprendizaje permite considerar las elecciones de alta magnitud como mayor riesgo y las de baja magnitud, como menor riesgo debido a que no se pueden predecir los resultados.

Adicionalmente, se han identificado cambios en la actividad eléctrica cerebral, particularmente el componente FRN, asociado al momento en que se presenta la retroalimentación de la ejecución en la tarea de apuesta y se ha relacionado con un resultado peor al esperado (Holroyd y Coles, 2002), así como al impacto emocional (Gehring et al., 2002). Así mismo, algunos autores también han relacionado este componente con la adaptación conductual conforme se da el aprendizaje a lo largo de la tarea (Holroyd y Coles, 2002; Bellebaum y Daum, 2008; Salier et al., 2010).

Sin embargo, los estudios actuales acerca del monitoreo de la conducta en los adolescentes que se basan en tareas de *juego de apuesta* se han enfocado en

estudiar este proceso de una forma un tanto independiente, ya sea considerando solo la parte conductual conforme a las elecciones ventajosas o desventajosas (Bechara et al., 2000), o tomando en cuenta el componente FRN, ya sea con (Hämmerer et al., 2011) o sin la implicación de aprendizaje (Zottoli et al., 2011; Santoso et al., 2011).

En este sentido, hasta donde sabemos sólo hay 3 estudios que consideran la evaluación del componente FRN entre adolescentes y adultos, dentro de los cuáles uno implica aprendizaje y los otros dos no lo hacen.

En el estudio que implica aprendizaje por reforzamiento (probabilistic reinforcement learning), se reportó una mayor amplitud del componente FRN en los adolescentes en comparación con los adultos, pero sin ser significativa la diferencia (Hämmerer et al., 2011). Mientras tanto, a nivel conductual ambos, adolescentes y adultos, mostraron una adaptación conductual semejante con una mayor cantidad de opciones convenientes para ganar (Hämmerer et al., 2011).

Por otra parte, de los estudios sin implicación de aprendizaje, uno de ellos reportó mayor amplitud en los adolescentes que en los adultos del componente FRN (Zottoli et al., 2011), los resultados fueron interpretados como una mayor sensibilidad hacia la retroalimentación externa, aunque no hubo diferencias entre grupos en las elecciones conductuales. El otro estudio no encontró diferencias entre grupos del componente FRN y no reportó resultados conductuales (Santoso et al., 2011).

Los resultados anteriores no permiten llegar a una conclusión precisa sobre el monitoreo de la conducta de los adolescentes tanto a nivel conductual como electrofisiológico ya que muestran resultados inconsistentes.

De esta forma, el presente trabajo se centró en abordar el monitoreo de la conducta que conlleva un involucramiento emocional comparando la ejecución entre adolescentes y adultos, a través de una tarea de juego de apuesta con y sin implicación de aprendizaje, considerando tanto las variables conductuales de elecciones entre alta y baja magnitud, como la amplitud y latencia del componente FRN.

El hecho de identificar diferencias entre adolescentes y adultos podría coadyuvar a explicar la manera en la que los adolescentes toman decisiones conforme al monitoreo de la conducta cuando hay un involucramiento emocional, tanto en situaciones con y sin la implicación de aprendizaje.

Adicionalmente, se consideraron varios factores que pueden influir en la amplitud del potencial FRN y la ejecución de la tarea y que han sido reportados por diversos estudios, como la sensibilidad a la recompensa (Santteso et al., 2011) y la impulsividad (Bechara et al., 2000).

Las preguntas de esta investigación se dirigieron a conocer:

¿Existen dificultades en el de monitoreo de la conducta que conlleva un involucramiento emocional en los adolescentes, tanto en situaciones con y sin aprendizaje en comparación con los adultos?

¿Existen diferencias en los potenciales relacionados a eventos (FRN) entre adolescentes y adultos ante la retroalimentación de su elección?

Objetivo general

Identificar las diferencias entre adolescentes y adultos en la respuesta conductual además de la amplitud y latencia del FRN ante las pérdidas y las ganancias monetarias de una tarea de *juego de apuesta* con la implicación de aprendizaje (condiciones: favorable y desfavorable) y sin aprendizaje.

Objetivos específicos

Identificar las diferencias entre alta y baja magnitud en cada condición entre adolescentes y adultos.

Identificar las diferencias conductuales (número de elecciones de alta y baja magnitud) entre condiciones (con aprendizaje y sin aprendizaje) dentro de cada grupo experimental.

Identificar las diferencias en la actividad cerebral (amplitud y latencia del FRN) entre condición y entre valencias (ganar vs perder) dentro de cada grupo experimental.

Hipótesis general

Se presentarán diferencias entre adolescentes y adultos en el desempeño conductual y en la actividad cerebral ante la tarea de *juego de apuesta* con pérdidas y ganancias monetarias. Particularmente, se observará un mayor número de elecciones de alta magnitud en las condiciones sin aprendizaje y con aprendizaje en su versión favorable por parte de los adolescentes en comparación con los adultos.

Las diferencias en el FRN se presentarán con una mayor amplitud y latencia por parte de los adolescentes en comparación con los adultos ante las pérdidas en las 3 condiciones.

Hipótesis específicas

Los adultos presentarán mayor cantidad de elecciones de alta magnitud en la condición con aprendizaje en su versión favorable que en la versión desfavorable. Los adolescentes no presentaran diferencias entre condiciones.

Los adultos presentarán mayor amplitud del componente FRN ante las pérdidas en la condición con aprendizaje en su versión favorable en comparación con la desfavorable. Ambos grupos presentarán mayor amplitud del FRN ante las pérdidas que ante las ganancias en cada condición.

Los adolescentes no presentarán diferencias en el número de elecciones de alta y baja magnitud entre las 3 condiciones. Los adultos presentarán mayor número de elecciones convenientes en cada condición. Particularmente, en la condición favorable habrá mayor número de elecciones de alta magnitud (\$25) *versus* baja magnitud (\$5) y en la condición desfavorable, se presentará mayor cantidad de elecciones de baja magnitud *versus* alta. En la condición sin aprendizaje no presentarán diferencias entre elecciones de alta y baja magnitud.

Variables independientes:

La edad (adolescentes vs adultos),

Las condiciones: **con aprendizaje:** favorable 70% ganancias y 30% pérdidas, desfavorable 70% pérdidas y 30% ganancias. **Sin aprendizaje:** 50% ganancias y 50% pérdidas.

Ganar vs perder

Variables dependientes:

Número de elecciones de alta (\$25) y baja (\$5) magnitud, tiempo para responder, y la amplitud y latencia del FRN.

4. Método.

Participantes

Participaron 30 voluntarios del sexo masculino, 15 adolescentes entre 16 y 17 años (media = 16, DE = .48) que formaron el grupo de adolescentes y 15 adultos entre 24 y 34 (media = 28, DE = 2.3) años que integraron el grupo de adultos.

Los criterios de inclusión:

Escolaridad mínima de 9 años para los adolescentes y de 12 para los adultos.

Presentar un puntaje mínimo de 85 en las pruebas de vocabulario y cubos del WAIS.

Presentar un puntaje menor a 60 en la escala de Add Brown (Brown, 1996) para descartar TDAH.

En el caso de los adolescentes cursar el año escolar correspondiente a su edad sin haber reprobado algún año escolar previo.

Los criterios de no inclusión:

Antecedentes de daño neurológico, antecedentes de adicciones a sustancias tóxicas y de síntomas psicóticos. No cumplir con alguna de las características requeridas en los criterios de inclusión.

Instrumentos de evaluación

Escala de impulsividad de Barratt (BS-11) (Barratt, 1994).

La escala evalúa la impulsividad y consiste en 30 ítems que se agrupan en 3 subescalas de impulsividad. Cada ítem tiene una puntuación entre 0 a 4 puntos que en suma proporcionan la puntuación de cada subescala, y la puntuación total se obtiene sumando la puntuación de todos los reactivos.

Cognitiva: 8 ítems- 4, 7, 10, 13, 16, 19, 24 y 27

Motora: 10 ítems- 2, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 23, 26 y 29

Impulsividad no planeada: 12 ítems- 1, 3, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 22, 25, 28, y 30

El cuestionario de sensibilidad a la recompensa y el castigo (SCSR) (Torrubia et al., 2001).

Mide la actividad del Sistema de inhibición y activación conductual a través de valorar las diferencias individuales en cuanto a la sensibilidad al castigo (SC) y la sensibilidad a la recompensa (SR).

El cuestionario SCSR es consta de 48 ítems, de los cuales 24 evalúan la SC y 24 la SR.

Los ítems se puntúan sí/no, asignándose 1 punto a cada respuesta positiva.

La puntuación total de cada escala puede oscilar entre 0 y 24.

Juego de apuesta

Este juego de apuesta se basó en el aplicado por Nieuwenhuis et al. (2004). La tarea simula un juego de apuesta que implica la toma de decisión sobre la elección de una de 2 opciones. Se le presentan al sujeto 2 opciones, una con una tarjeta con el número 5 y otra con el número 25. El número representa la posible ganancia o pérdida que tendrá el ensayo con base en la elección. El sujeto no conoce de inicio si sus decisiones le harán ganar o perder dinero. El sujeto es instruido para elegir una opción presionando una tecla derecha o izquierda, que le podrá proporcionar pérdidas o ganancias, lo cual deberá descubrir por sí mismo.

Cada ensayo inicia con un punto de fijación al centro de la pantalla (500 ms). Posteriormente, un par de rectángulos aparecen en los costados del punto de fijación con un par de cantidades dentro de los rectángulos para que el sujeto haga su elección. Las cantidades siempre son las mismas pero pueden cambiar de posición (\$5 y \$25) con respecto del punto de fijación apareciendo alternativamente a la derecha o a la izquierda. Después de la elección del participante se muestra una pantalla en negro durante 500 ms e inmediatamente después, se presenta la retroalimentación con ambos rectángulos nuevamente, pero resaltando el rectángulo elegido y presentando el signo de + o de - para señalar si la decisión tomada produjo una pérdida o ganancia. Adicionalmente, ante la retroalimentación negativa se presentó el rectángulo con un fondo rojo y ante la retroalimentación positiva con un fondo verde.

La retroalimentación fue mostrada por 1000 ms para iniciar luego con el siguiente ensayo (figura 4).

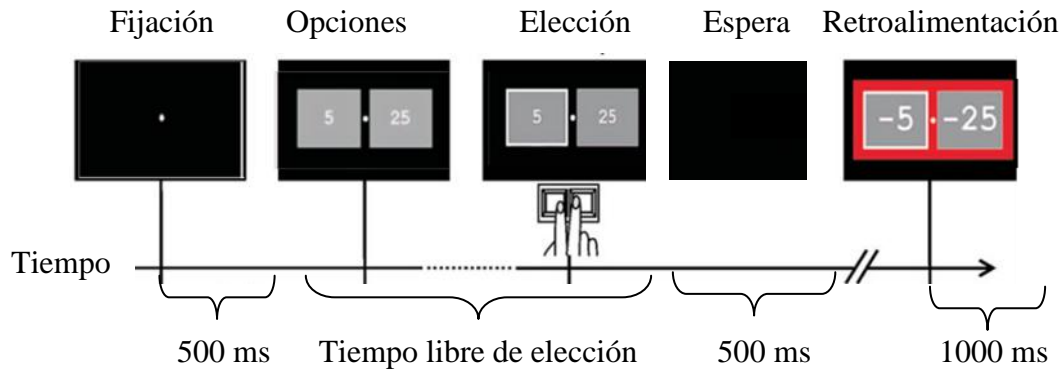


Figura 4. Esquema del paradigma de juego de apuesta. Modificado de *Nieuwenhuis et al., (2004)*. Se muestran los tiempos empleados para cada fase de la tarea.

Las instrucciones fueron las siguientes:

En la pantalla verás un par de opciones con dos puntuaciones distintas. Deberás elegir una de las 2 cantidades presionando el botón derecho o izquierdo de acuerdo a la posición de tu elección deseada. Cada vez que escoges, se mostrará una pantalla señalándote la opción que elegiste y su resultado (suma de color verde, o resta de color rojo), junto con la opción alterna y el resultado que rechazaste (suma de color verde, o resta de color rojo). Algunas veces tu elección se sumará a tu puntuación total y otras veces se restará.

ES TU DECISIÓN ELEGIR UNA CANTIDAD DE PUNTOS ALTOS O BAJOS PARA PERDERLOS O GANARLOS CADA VEZ.

La meta de la prueba es hacer la mayor cantidad de puntos posibles, o en su caso evitar perder los puntos obtenidos para cambiarlos por dinero en efectivo. Responde lo más rápido posible ante tus 2 opciones. Presiona la barra espaciadora para empezar.

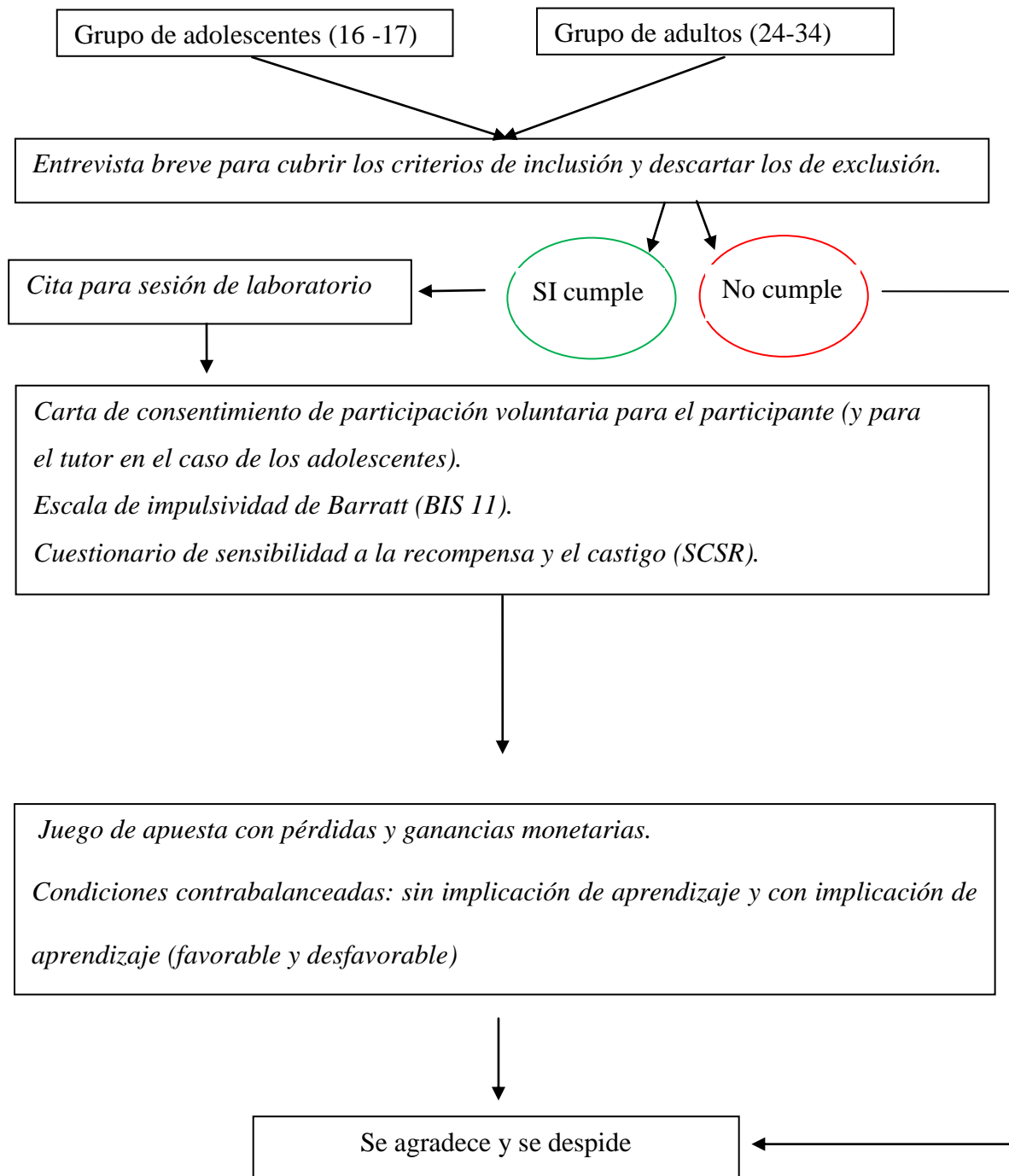
4.1 Procedimiento

La sesión inició con la aplicación de las escalas de impulsividad y sensibilidad a la recompensa y el castigo y posteriormente, se aplicó el *juego de apuesta*.

Antes de comenzar la tarea se les informó a los participantes que el valor de cada elección era acumulado a su puntaje final para cambiarlo por su ganancia monetaria. Para asegurar que el sujeto comprendiera la tarea, se realizó un ejercicio previo con 10 ensayos (5 pérdidas y 5 ganancias) con la misma dinámica en la que se presentaron posteriormente, las 3 condiciones: dos con la implicación de aprendizaje y una sin la implicación de aprendizaje. Los bloques fueron aplicados de manera contrabalanceada. Cada condición fue constituida por 1 bloque de 110 ensayos y entre cada bloque se permitió un momento de descanso

breve. Los bloques tuvieron una duración aproximada de 7 minutos cada uno (ver figura). El tiempo de la evaluación completa fue alrededor de 1 hora.

4.2 Diseño experimental



5. Registro electroencefalográfico

El registro de la actividad eléctrica cerebral se realizó mediante un polígrafo MEDICID-05 de Neuronic, a través de 21 electrodos colocados en las derivaciones Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz, de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20, usando como referencia ambas orejas cortocircuitadas.

Se incluyeron dos sitios de registro para el control de artefactos oculares (EOG) que fueron colocados en el canto superior externo del ojo izquierdo e inferior externo del ojo derecho. La impedancia para todos los electrodos fue menor a 5 K Ohms. Las señales de EEG y del EOG fueron capturadas usando un periodo de muestro de 2 ms (500 Hz) y un filtraje analógico entre 0.5 y 50 Hz. La señal capturada se almacenó para su análisis fuera de línea.

Análisis de la señal

El componente FRN se obtuvo a través de la promediación de la actividad eléctrica de cada participante para cada condición (con aprendizaje: favorable y desfavorable y sin aprendizaje: neutral) y conforme a su valencia (ante las pérdidas y ante las ganancias). El FRN se identificó como el pico máximo negativo dentro de una ventana de tiempo entre los 200 y 400 ms después de la retroalimentación. Se calculó la diferencia entre el puntaje del pico máximo negativo y el puntaje del pico positivo anterior de la actividad eléctrica en la derivación Fz. Se filtró la señal original hasta 15 Hz para su análisis y graficación.

6. Análisis estadístico

El análisis estadístico para las pruebas de cubos y vocabulario del WAIS, la prueba de Add Brown y para las escalas de impulsividad, de la sensibilidad a la recompensa y el castigo, fue por medio de la aplicación de la t de Student, considerando los puntajes correspondientes de cada prueba y de cada escala para hacer las comparaciones entre grupos.

Para analizar el desempeño conductual durante la tarea se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de diseño mixto con dos factores: grupos (adultos, adolescentes) y condiciones (neutral, favorable y desfavorable) de manera independiente para las elecciones de alta magnitud (\$25) y de baja magnitud (\$5). Las comparaciones entre las elecciones de magnitud alta *versus* baja dentro de

cada grupo para cada condición fueron evaluadas por medio del estadístico t de Student para muestras pareadas.

Para establecer las diferencias en la latencia y la amplitud del componente FRN se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de diseño mixto con dos factores: grupos (adultos, adolescentes) y condiciones (neutral, favorable y desfavorable) de manera independiente para la retroalimentación positiva (las ganancias) y la retroalimentación negativa (las pérdidas). Se realizó una corrección de Greenhouse en los ANOVAs y para las comparaciones múltiples se realizó la corrección de Bonferroni. Las comparaciones intragrupal entre las dos posibles formas de retroalimentación (las pérdidas *versus* las ganancias) fueron evaluadas por medio del estadístico t de Student para muestras pareadas. Las correlaciones entre los resultados conductuales y las escalas se realizaron con la prueba estadística r de Pearson.

7. Resultados

Características de los grupos

No se consideraron para el análisis dos participantes del grupo de adolescentes y un participante del grupo de adultos por fallos técnicos en el registro, quedando con una *n* de 14 para los adultos y una *n* de 13 para los adolescentes. En la tabla 2 se muestran la media y desviación estándar para las variables de edad y escolaridad, siendo significativa la diferencia entre grupos. Con respecto a las características de los participantes, no se observaron diferencias entre grupos, en el puntaje de las pruebas de Add Brown, cubos y las subpruebas del WAIS. Tampoco en las variables de la escala de impulsividad de Barratt, tomando en cuenta las subdivisiones de impulsividad general, cognitiva, motora y no planeada, ni en la sensibilidad a la recompensa y el castigo (ver tabla 2).

Tabla 2. Características de los grupos.

	<u>Adultos (n=14)</u>		<u>Adolescentes (n=13)</u>		<u>t Student</u>	<u>p</u>
	<u>Media</u>	<u>DS</u>	<u>Media</u>	<u>DS</u>		
Edad	28.4	2.3	16	.48	17.687	< .01
Escolaridad	16.6	.00	10.6	.59	18.324	< .01
<i>Add Brown</i>	27.8	17.1	26.0	12.75	.304	.764
<i>Subpruebas del WAIS</i>	105.8	9.2	110.6	15.1	-1.009	.323
<i>Impulsividad general</i>	43.7	11.1	43.7	13.5	.003	.997
<i>cognitiva</i>	13.7	5.2	13.2	5.2	.275	.786
<i>motora</i>	12.5	3.8	13.7	6.0	-.655	.518
<i>no planeada</i>	18.2	4.9	16.8	5.6	.671	.508
<i>Sensibilidad a la recompensa</i>	9.0	3.9	11.3	1.9	-1.915	.067
<i>al castigo</i>	7.1	5.8	6.2	3.8	.475	.639

Se encontró una tendencia en la sensibilidad a la recompensa presentando una puntuación mayor por parte de los adolescentes en comparación con los adultos (Tabla 2).

Resultados conductuales

Diferencias entre grupos y condiciones

Con base en los ANOVA no se observaron diferencias entre grupos, en ninguna de las variables conductuales medidas: porcentaje de elecciones de alta magnitud ($F_{(1, 25)} = .104, p = .750$), de baja magnitud ($F_{(1, 25)} = .104, p = .750$) y promedio del tiempo para responder ($F_{(1, 25)} = 2.093, p = .160$).

De igual forma, no se observaron diferencias conductuales entre condiciones por parte de ningún grupo: porcentaje de elecciones de alta magnitud ($F_{(1, 25)} = .157, p = .846$), porcentaje de elecciones de baja magnitud ($F_{(1, 25)} = .157, p = .846$) y promedio del tiempo para responder ($F_{(1, 25)} = 1.492, p = .237$).

Interacciones

No se presentaron interacciones significativas de Condiciones x Grupo en ninguna de las variables conductuales medidas.

Diferencias entre alta y baja magnitud

Con respecto al análisis del porcentaje de elecciones de alta magnitud comparado con las de baja magnitud, se observaron diferencias significativas con un mayor número elecciones de baja que de alta magnitud en las condiciones con implicación de aprendizaje en la versión favorable ($t = 2.687, p = .019$) y desfavorable ($t = 3.052, p = .009$), así como en la condición sin aprendizaje ($t = 2.687, p = .011$) por parte de los adultos. Mientras que los adolescentes presentaron estas diferencias solo en las condiciones con implicación de aprendizaje tanto en la versión favorable ($t = 3.143, p = .008$) como la desfavorable ($t = 3.087, p = .009$) y una tendencia en la condición sin aprendizaje ($t = 1.913, p = .080$) (Fig. 5)

Porcentaje de elecciones con alta y baja magnitud

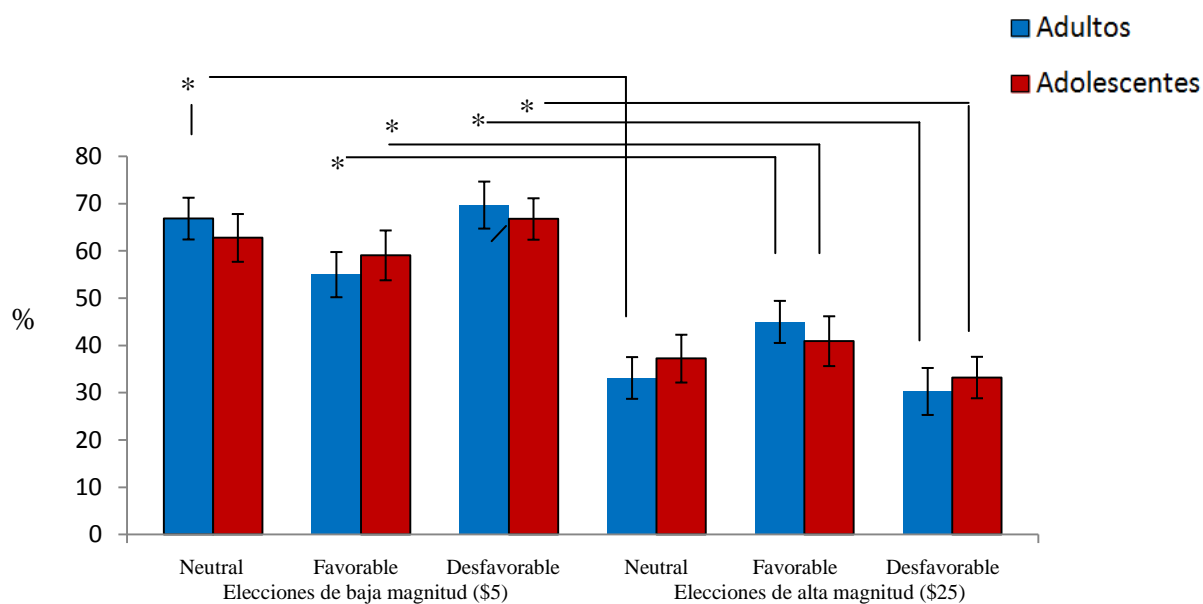


Figura 5. Porcentaje de elecciones con alta y baja magnitud.

Se muestra la media y 2 errores estándar del porcentaje de las elecciones baja (\$5) y alta magnitud (\$25) de cada grupo en cada condición. * $p < 0.05$

Con la intención de identificar si el porcentaje de elecciones de baja magnitud en comparación con el de alta magnitud fue constante a lo largo de la prueba o si hubo un efecto de aprendizaje en los últimos ensayos, se realizó un análisis utilizando la *t* de Student, considerando las elecciones de los últimos 30, 50, 60 o 70 ensayos de manera independiente en cada condición. Los resultados mostraron que los adultos presentaron las mismas diferencias significativas que en los ensayos totales a partir de los últimos 70 ensayos. Mientras tanto, los adolescentes mostraron diferencias significativas en la condición sin aprendizaje a partir de los últimos 60 ensayos, a diferencia de sus ensayos totales en los que no mostraron esta diferencia estadística (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis sobre el porcentaje de elecciones de alta (\$25) versus baja magnitud (\$5) durante los últimos ensayos del juego de apuesta.

		<u><i>G</i></u>	<u>Neutral</u>		<u>Favorable</u>		<u>Desfavorable</u>	
			<u><i>t</i></u>	<u><i>p</i></u>	<u><i>t</i></u>	<u><i>p</i></u>	<u><i>t</i></u>	<u><i>p</i></u>
Últimos 30	<i>Adultos</i>	(1,13)	3.440	.004	.647	.529	2.746	.017
	<i>Adolescentes</i>	(1,12)	2.494	.028	1.307	2.16	3.881	.002
Últimos 50	<i>Adultos</i>	(1,13)	3.817	.002	1.046	.315	3.967	.002
	<i>Adolescentes</i>	(1,12)	2.525	.027	1.722	.111	3.826	.002
Últimos 60	<i>Adultos</i>	(1,13)	3.319	.006	1.297	.217	3.849	.002
	<i>Adolescentes</i>	(1,12)	2.347	.037	2.112	.056	3.786	.003
Últimos 70	<i>Adultos</i>	(1,13)	3.598	.003	1.581	.138	3.485	.004
	<i>Adolescentes</i>	(1,12)	2.160	.052	2.367	.036	3.344	.006

Análisis conductual sobre las elecciones de alta magnitud luego de ganar o perder \$25.

Con el propósito de evaluar el efecto de la pérdida y la ganancia cuando se realiza una elección de alta magnitud sobre la siguiente elección, de manera adicional se realizó un ANOVA de medidas repetidas grupos por condiciones con el número de elecciones de alta magnitud después de haber obtenido una pérdida o una ganancia a partir de una elección de alta magnitud.

Los resultados no mostraron diferencias significativas entre grupos, ni entre condiciones, ni interacciones significativas.

En cambio, sí se presentaron diferencias significativas en función de las condiciones. Las diferencias se observaron sólo en el grupo de los adultos en la condición sin aprendizaje ($t = -2.716$, $p = .018$), con un mayor porcentaje de elecciones de alta magnitud luego de perder que luego de ganar. Los adolescentes no mostraron diferencias en ninguna condición, neutral ($t = -1.716$, $p = .112$), favorable ($t = -.139$, $p = .892$) ni desfavorable ($t = -.692$, $p = .502$).

Correlaciones entre los resultados conductuales y las características de los participantes

Sólo en los adolescentes se presentó una correlación negativa entre la impulsividad general y el promedio del tiempo de respuesta en las condiciones con aprendizaje, tanto favorable ($r = - .569$, $p = < .05$) como desfavorable ($r = - .678$, $p = < .05$) (ver Fig. 6).

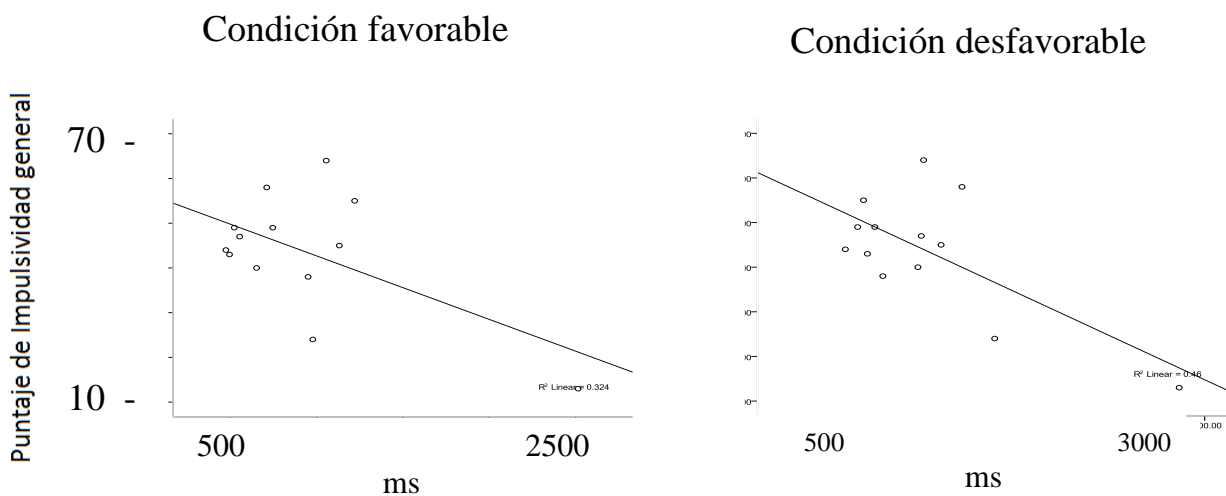


Figura 6. Correlaciones de los adolescentes entre la impulsividad general y el tiempo de respuesta en los adolescentes $r = < .05$

Resultados Electrofisiológicos

Los resultados del ANOVA sobre la amplitud y latencia del FRN en la derivación Fz fueron realizados solamente ante los resultados de las pérdidas considerando 2 factores (grupos, condiciones). Lo anterior se debió a que algunos de los adolescentes no presentaron el componente FRN ante las ganancias, sobre todo en la condición sin aprendizaje. Los participantes adolescentes que presentaron componente ante las ganancias fueron 9 en la condición sin aprendizaje, 12 en la condición con aprendizaje en su versión favorable y 11 en su versión desfavorable.

Diferencias entre grupos

Se presentaron diferencias en la amplitud del FRN entre grupos ($F(1, 25) = 10.080, p = .004$) en la derivación Fz. Particularmente, se observó una mayor amplitud del FRN ante la retroalimentación de pérdidas por parte de los adolescentes en comparación con los adultos en las 3 condiciones, sin aprendizaje ($p < .05$), y con aprendizaje en su versión favorable ($p < .05$) como desfavorable ($p < .05$). Así mismo, hubo diferencias entre latencias ($F(1, 25) = 6.460, p = .018$) en la condición sin aprendizaje ante la retroalimentación de pérdidas ($p < .05$) con mayor latencia en los adolescentes (media = 293 ms) que en los adultos (media = 263 ms), pero no en las condiciones con aprendizaje favorable y desfavorable (figuras 7 y 8).

Diferencias entre condiciones

No se encontraron diferencias entre condiciones en la amplitud del FRN ante la retroalimentación de pérdida ($F(1, 25) = 2.192, p = .128$), ni tampoco en la latencia ($F(1, 25) = 2.804, p = .073$).

Interacciones

No se presentaron interacciones en la amplitud del FRN Condiciones x Grupo ($F(1, 25) = .215, p = .784$) ni en la latencia ($F(1, 25) = .602, p = .544$).

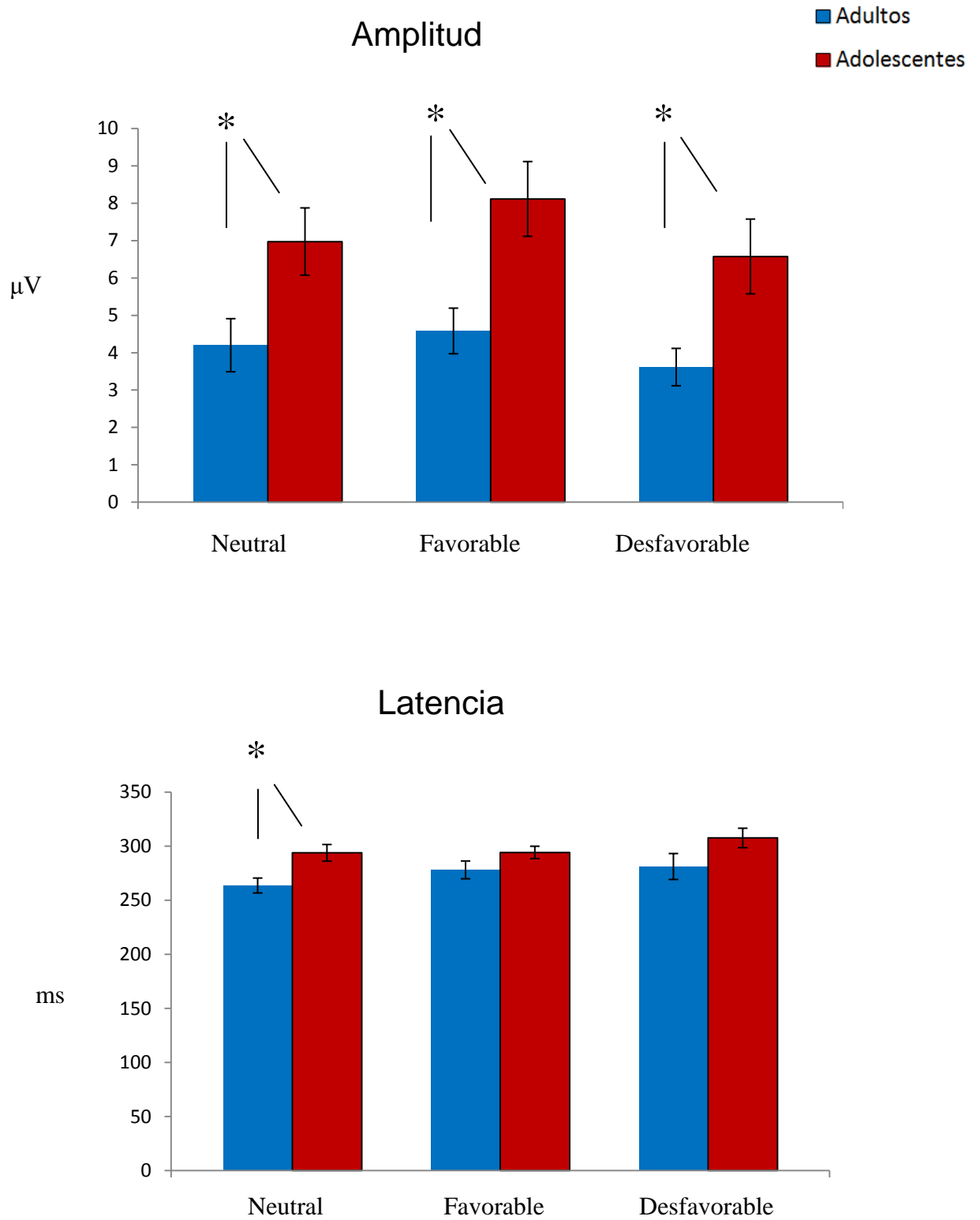


Figura 7. Valores de la amplitud y latencia del potencial FRN ante la retroalimentación de pérdida en la derivación Fz en los adolescentes y los adultos. Gráfica superior muestra los valores de la amplitud. Gráfica inferior muestra los valores de la latencia. Media y 2 errores estándar. * $p < 0.05$

Componente FRN

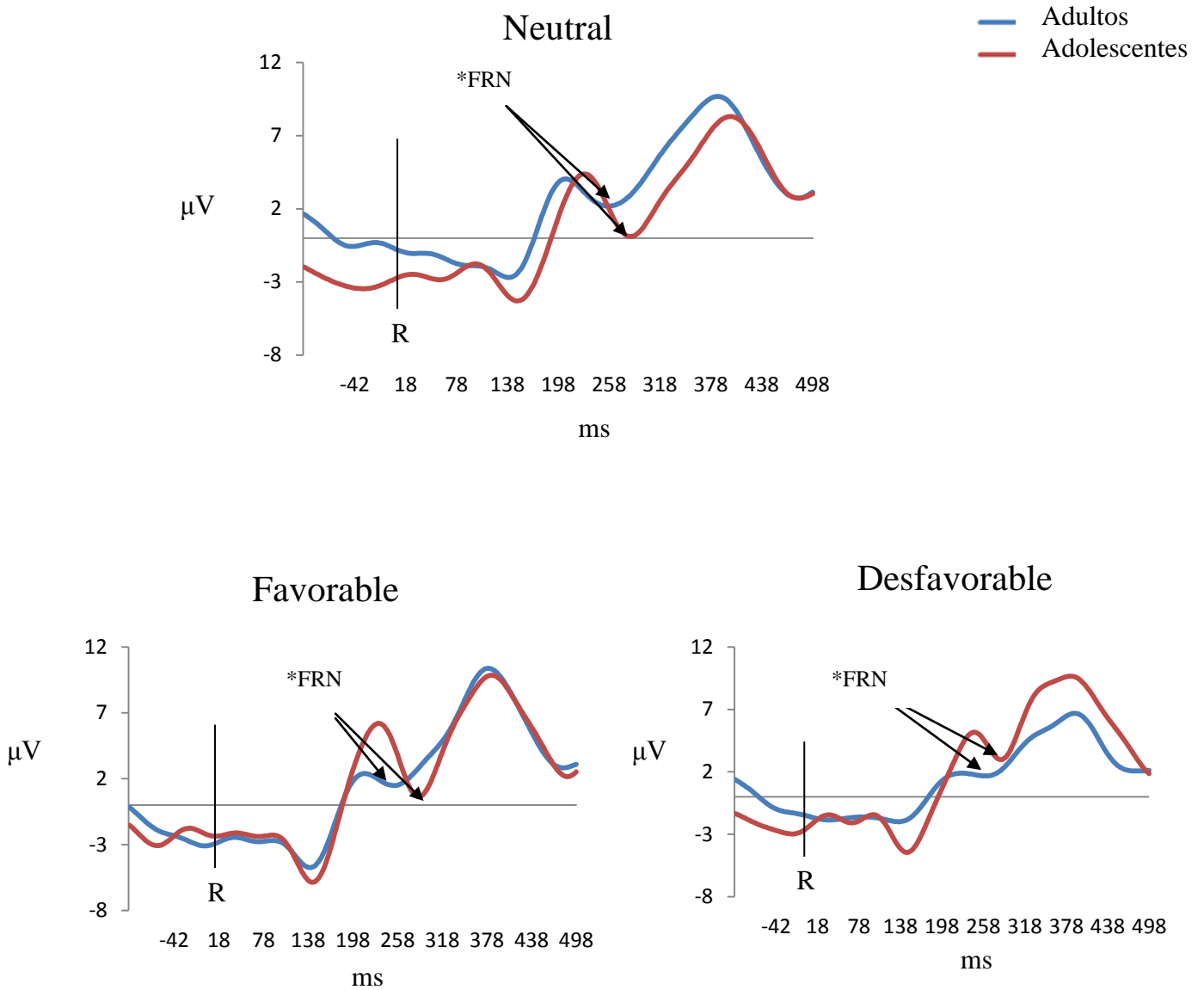


Figura 8. Componente FRN en Fz ante la retroalimentación de pérdida en los adolescentes y los adultos en las condiciones: neutra sin aprendizaje, favorable y desfavorable con aprendizaje. R= momento de la retroalimentación.

* $p < 0.05$

Análisis entre ganar y perder

Se realizó solo en el grupo de adultos debido a que el grupo de adolescentes no fue analizado por falta del componente ante las ganancias por parte de algunos adolescentes. Con respecto a las diferencias de voltaje del FRN entre ganar y perder no se observaron diferencias significativas en ninguna condición por parte del grupo de adultos. Sólo se presentó una tendencia en la condición con aprendizaje en su versión favorable ($t = -1.877, p = .085$), pero no en las demás condiciones, desfavorable ($t = -.336, p = .743$) y sin aprendizaje ($t = -.460, p = .654$). Así mismo, no se mostraron diferencias en la latencia en ninguna de las condiciones, sin aprendizaje ($t = -.149, p = .884$), con aprendizaje en su versión favorable ($t = -.791, p = .444$) y desfavorable ($t = -1.168, p = .261$) (Fig. 9).

El grupo de adolescentes no fue analizado por falta del componente ante las ganancias por parte de algunos adolescentes. No hubo correlaciones entre la conducta y el voltaje del FRN.

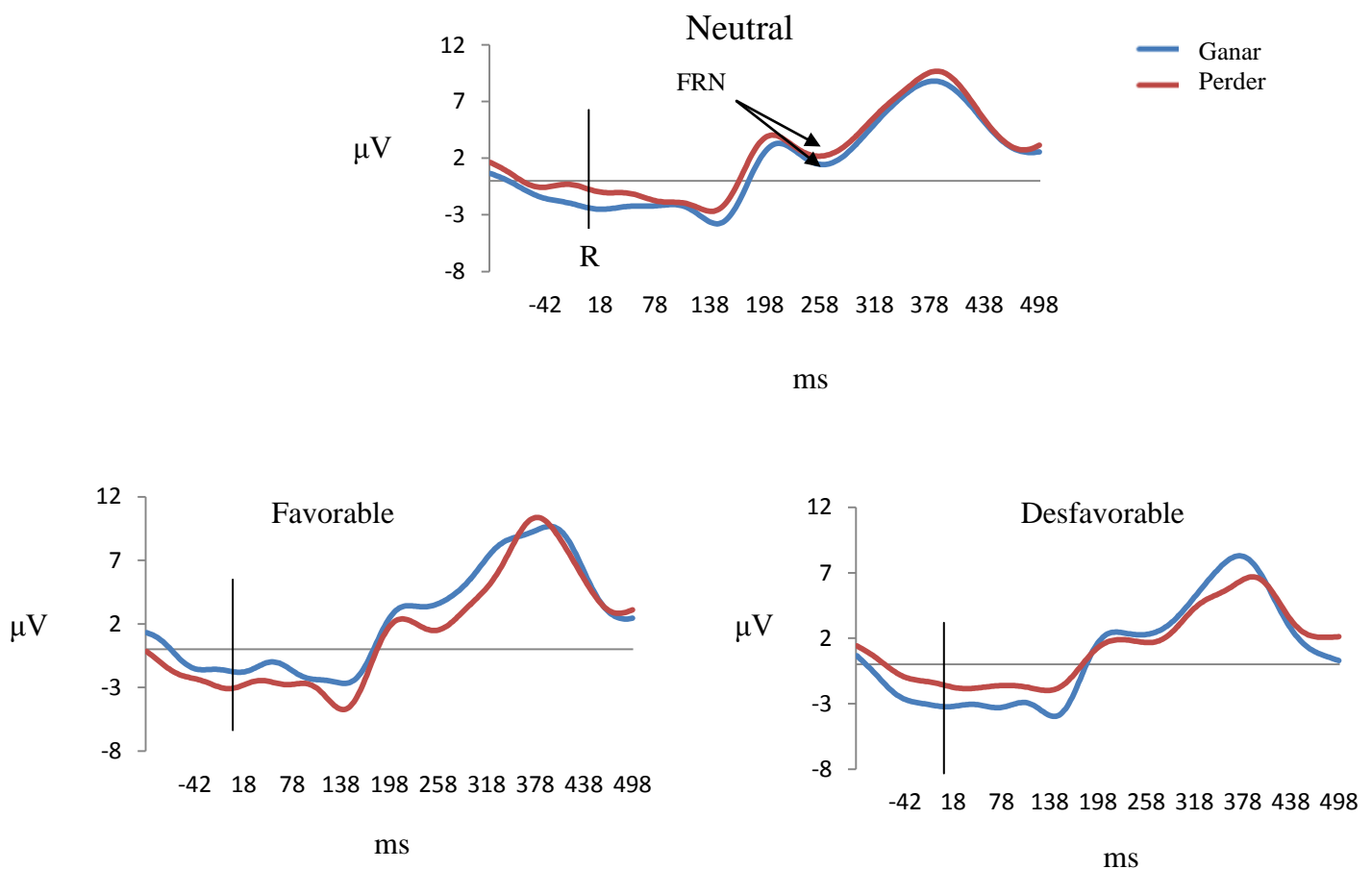


Figura 9. Componente FRN en Fz ante la retroalimentación de la pérdida y la ganancia en el grupo de adultos.

Resumen de resultados

Se consideraron 13 adolescentes (media = 16 años) y 14 adultos (media = 28 años) para el análisis. No se presentaron diferencias entre grupos en el puntaje de las pruebas de inclusión Add Brown, cubos y las subpruebas del WAIS. Tampoco, en las variables de la escala de impulsividad de Barratt, tomando en cuenta la impulsividad general, cognitiva, motora y no planeada, ni en la sensibilidad a la recompensa y el castigo.

Conductuales

No se observaron diferencias en las elecciones de alta y baja magnitud entre grupos ni entre condiciones. Con respecto a las diferencias entre alta (\$25) y baja (\$5) magnitud dentro de cada condición, se observó en el grupo de los adultos un mayor porcentaje de elecciones de baja magnitud (\$5) en comparación con alta magnitud (\$25) en las condiciones con y sin implicación de aprendizaje. Mientras que los adolescentes mostraron estas mismas diferencias solo en las condiciones con implicación de aprendizaje y una tendencia en la condición sin aprendizaje.

Además los adolescentes mostraron una correlación negativa entre la impulsividad general y el tiempo de respuesta en las condiciones con implicación de aprendizaje (favorable y desfavorable).

Electrofisiológicos.

Se presentó una mayor amplitud del FRN en los adolescentes que en los adultos ante la retroalimentación de pérdidas en las 3 condiciones. Además en la condición sin aprendizaje se presentó mayor latencia del FRN en los adolescentes que en los adultos. El análisis del FRN ante la retroalimentación positiva (ganancias) no pudo realizarse debido a la ausencia del componente en algunos adolescentes.

Con respecto al FRN ante la retroalimentación de ganancia comparado con el FRN ante la retroalimentación de pérdida no se observaron diferencias, sólo una tendencia en la condición con implicación de aprendizaje (favorable) en los adultos.

8. Discusión

El objetivo de este estudio fue el identificar las diferencias entre adolescentes y adultos en el monitoreo de la conducta con base a la respuesta conductual, la amplitud y latencia del componente FRN ante una tarea de juego de apuesta con y sin aprendizaje por reforzamiento. Los estudios actuales acerca del monitoreo de la conducta en los adolescentes que se basan en tareas de *juego apuesta* se han enfocado en estudiar de forma un tanto más independiente, ya sea la parte conductual conforme a las elecciones ventajosas o desventajosas (Bechara et al., 2000) o el componente FRN (Zottoli et al., 2011; Hämmerer et al., 2011), ya sea implicado aprendizaje (Hämmerer et al., 2011) o sin implicar aprendizaje por reforzamiento (Zottoli et al., 2011; Santesso et al., 2011). En el presente trabajo nos centramos en abordar el monitoreo de la conducta en los adolescentes en comparación con los adultos considerando tanto las variables conductuales de elecciones entre alta y baja magnitud, como la amplitud y latencia del componente FRN ante tareas con y sin implicación de aprendizaje.

En este sentido, las diferentes probabilidades de pérdidas y ganancias monetarias utilizadas deliberadamente en el presente paradigma, fueron manipuladas con la idea de observar ajustes conductuales (elecciones de alta y baja magnitud) conforme avanzaba la tarea. Por ello, esperábamos una mejor adecuación por parte de los adultos que de los adolescentes, con un mayor número de elecciones “convenientes” según la retroalimentación obtenida en cada condición. En el presente estudio las condiciones llamadas favorable y desfavorable implicaron aprendizaje debido al sesgo de probabilidades de pérdidas y ganancias (*probabilistic learning task*), mientras que la condición sin implicación de aprendizaje no implicó este sesgo (*juego de apuesta*), por lo cual se considera sin aprendizaje (Santesso et al., 2011; Zottoli et al., 2011). En este sentido, las condiciones que implicaban un aprendizaje por reforzamiento (*probabilistic learning task*), dependen del sesgo de probabilidad de las pérdidas y ganancias para considerar una elección como conveniente o inconveniente. En la condición favorable la elección conveniente es la de alta magnitud (\$25) y la inconveniente la de baja magnitud (\$5). De manera contraria, en la condición desfavorable la elección de alta magnitud es categorizada como inconveniente y la elección de baja magnitud como conveniente. Cabe señalar que el aprendizaje implicado en estas dos condiciones puede ser considerado en un nivel no declarativo, ya que depende

de la repetición continua de los estímulos y no de una asociación directa entre algún estímulo clave con los resultados (Rustemeirer et al., 2013). Por su parte, en la condición sin aprendizaje (neutral) las elecciones de alta magnitud (\$25) son consideradas como elecciones de mayor riesgo y las elecciones de baja magnitud (\$5) como elecciones de menor riesgo (\$5). Lo anterior se basa en el hecho de que existe la misma probabilidad de pérdidas y ganancias y no hay un aprendizaje por reforzamiento (Holroyd y Coles, 2002; Santesso et al., 2011; Zottoli et al., 2011).

Características de los participantes

Con respecto a las características de los participantes no hubo diferencias significativas entre grupos, por lo tanto es viable considerar que los resultados obtenidos en este estudio no se debieron en función del nivel de inteligencia o del nivel de impulsividad o de la sensibilidad a la recompensa y el castigo. Aunque la tendencia en la sensibilidad a la recompensa se retomará en el componente FRN ante las ganancias en las siguientes páginas. Por otra parte, las mediciones anteriores fueron realizadas debido a la influencia que pudieran tener tanto sobre las elecciones conductuales como sobre el componente FRN.

Se esperaba que los adolescentes pudieran presentar mayor nivel de impulsividad en comparación a los adultos, conforme a otros estudios en los éstos se ha reportado (Galvan et al., 2007; Steinberg et al., 2008). No obstante no ocurrió de esta manera, probablemente por la misma variabilidad que puede presentarse dentro de la misma edad adolescente (Crowley et al., 2013). Así mismo, se ha sugerido que la sensibilidad a la recompensa puede generar una atenuación del componente FRN debido a una menor vigilancia de los resultados que pudieran presentar los sujetos (Santesso et al., 2011). En este sentido, algunos estudios han reportado mayor activación del estriado ventral relacionado con el valor de las ganancias en los adolescentes en comparación con los adultos (Galvan et al., 2006; Van Leijenhorst et al., 2010b)

Resultados conductuales

Diferencias entre grupos y condiciones

La hipótesis en este trabajo fue que los adolescentes presentarían mayores elecciones de alta magnitud (\$25) que los adultos en la condición sin aprendizaje y en la condición con implicación de aprendizaje en su versión favorable. Sin embargo, esta hipótesis no se cumplió, ya que no se presentaron diferencias entre grupos ni tampoco entre condiciones. Se esperaban estas diferencias en la condición sin aprendizaje debido a que se ha reportado que los adolescentes presentan mayores elecciones de riesgo que los adultos (Steinberg, 2005). Particularmente, en la condición con aprendizaje en su versión favorable, suponíamos que la presencia de ganancias frecuentes podría generar un efecto reforzador que pudiera estar dirigido hacia las conductas de alta magnitud debido a la mayor activación del estriado ventral que se ha relacionado con el valor de las ganancias en los adolescentes (Galvan et al., 2006; Van Leijenhorst et al., 2010b). Sin embargo, en este estudio no se presentó de esta manera coincidiendo así con los trabajos que reportan la ausencia de diferencias entre adolescentes y adultos tanto en condiciones sin aprendizaje (Zottoli et al., 2011) como con aprendizaje (Hämmerer et al., 2011).

En cambio, en la condición desventajosa sí se esperaba que los adolescentes pudieran tener una conducta parecida a los adultos, en base a otros estudios en los que se ha reportado que los adolescentes presentan conductas semejantes a los adultos en tareas de apuesta con aprendizaje (Bechara, 2005; Hämmerer et al., 2011). De esta forma, la hipótesis para esta condición sí se cumplió y los resultados del presente estudio coinciden con los que no muestran diferencias entre adolescentes y adultos en tareas con implicación de aprendizaje (Bechara, 2005; Hämmerer et al., 2011), sugiriendo así un efecto de aprendizaje y una adecuación conductual por parte de ambos grupos en las condiciones con aprendizaje.

Elecciones alta vs baja magnitud

Tanto los adolescentes como los adultos mostraron una mayor cantidad de elecciones de menor magnitud que de alta magnitud en las condiciones con implicación de aprendizaje. De este modo, estos resultados coinciden solo con nuestra hipótesis en la versión desventajosa en la que se esperaba esta conducta

en los adultos. No obstante, se observó un aumento de elecciones de alta magnitud en la versión favorable conforme al análisis de los últimos ensayos en ambos grupos. Este cambio de elección no se observó en la versión desfavorable, sugiriendo así un efecto de aprendizaje en función de la probabilidad. Así mismo, la consistencia en las elecciones que se observó durante los últimos ensayos para la condición con aprendizaje en su versión desfavorable en cada grupo, nos permite suponer que las elecciones no tuvieron un patrón azaroso y que fueron influidas por las probabilidades de pérdidas y ganancias de dichas condiciones, reflejando así el efecto del aprendizaje no declarativo para ambas versiones con implicación de aprendizaje. De esta forma, nuestros resultados se mostraron consistentes con la idea de un ajuste conductual con base a la probabilidad de pérdidas y ganancias y que ha sido respaldada en diversos estudios tanto en adultos como en adolescentes (Holroyd y Coles, 2002; Eppinger et al., 2008; Bellebaum y Daum, 2008; Wash et al., 2011; Hämmerer et al., 2011).

Por su parte, en la condición sin aprendizaje el porcentaje de elecciones fue un poco diferente en cada grupo. Los adultos tuvieron significativamente menor porcentaje de elecciones de baja que de alta magnitud en esta condición, mientras que los adolescentes presentaron una tendencia. No obstante, es preciso señalar que conforme al análisis de los últimos ensayos, se observó que los adolescentes mostraron diferencias significativas como los adultos a partir del ensayo 50, lo que hace suponer los adolescentes simplemente requieran de mayor cantidad de ensayos para optar por elecciones de menor magnitud en situaciones con incertidumbre, es decir en aquéllas en las que no se pueden predecir los resultados. Sería conveniente que en estudios posteriores se incrementara el número de ensayos en condiciones neutrales con igual probabilidad de ganancia y pérdida, para constatar si la tendencia se torna significativa en los adolescentes, así como fue en los adultos.

Aunque los resultados se dirigen a que los adolescentes solo requieren mayor cantidad de ensayos para elegir las opciones de baja magnitud como los adultos en las situaciones sin aprendizaje, como ya se señaló previamente, en el presente estudio se mostraron algunos resultados tanto conductuales como electrofisiológicos que sugieren que los adolescentes pueden mostrar cierta vulnerabilidad en la dirección de sus elecciones que los adultos ante estas

condiciones que se han relacionado con la incertidumbre (Rustichini, 2009; Yu et al., 2011).

Con respecto a lo anterior, otro resultado relacionado con el efecto de la pérdida y la ganancia cuando se realiza una elección de alta magnitud sobre la siguiente elección mostró que los adultos tuvieron un mayor porcentaje de elecciones de alta magnitud luego de perder la cantidad mayor (\$25) que luego de ganarla (\$25) sólo en la condición sin aprendizaje. Estos resultados son congruentes con otros estudios que reportan resultados semejantes (Gehring y Willoughby, 2002; Yeung y Sanfey, 2004; Masaki et al., 2006). Algunas de las posibles explicaciones de estas conductas se basan en la influencia del estado emocional inducido luego de la pérdida, el cual pudiera ocasionar un cambio sobre el valor subjetivo de las opciones (Gehring y Willoughby, 2002) o un intento por recuperar la pérdida (Yeung y Sanfey, 2004) o un intento por tener un mayor control conductual o emocional (Masaki et al., 2006). De manera interesante, los resultados del presente estudio mostraron este patrón de conducta solamente en esta condición sin aprendizaje donde los participantes no pueden predecir los resultados, pero no en las condiciones con aprendizaje (favorable y desfavorable), sugiriendo nuevamente, una influencia del aprendizaje en estas dos últimas condiciones. En cambio, en el grupo de adolescentes no se observaron diferencias en este sentido dentro de ninguna condición. La explicación a lo anterior podría estar basada en la mayor proporción de elecciones de alta magnitud observada en los adolescentes en la condición sin aprendizaje en comparación con los adultos, por lo cual la diferencia de resultados en esta condición pudo verse atenuada. De esta forma, parece ser que las elecciones de los adolescentes fueron más aleatorias que la de los adultos, particularmente en esta condición sin aprendizaje en comparación con los adultos.

Adicionalmente, se ha señalado que en las situaciones en las que no se pueden predecir los resultados existe un factor de incertidumbre (Rustichini, 2009; Yu et al., 2011), como lo fue en el caso de la condición sin aprendizaje. En relación con esto, algunos estudios han reportado que hay mayor activación de la ínsula anterior en los adolescentes en comparación con los adultos ante situaciones que implican incertidumbre y se ha sugerido que esta actividad podría estar relacionada con las conductas de riesgo en los adolescentes (Van Leijenhorst et al., 2010a; 2010b). No obstante, es preciso remarcar que esta falta

de preferencia hacia elecciones de baja magnitud en los adolescentes en comparación con los adultos se mostró distinta sólo ante circunstancias en las que no se pueden predecir los resultados o que implican un grado de incertidumbre. Una posible explicación podría ser que los adolescentes al presentar una mayor tendencia de sensibilidad hacia la recompensa que al castigo no les importe perder siempre cuando ganen. En cambio los adultos utilicen al no presentar esta tendencia de mayor sensibilidad elijan estratégicamente evitar pérdidas más que obtener ganancias.

Por otra parte, de manera interesante, sólo en los adolescentes se presentó una correlación entre la impulsividad y el tiempo de respuesta. Se observó que a mayor nivel de impulsividad general se presenta menor tiempo de elección de respuesta en las condiciones con aprendizaje (favorable y desfavorable). Es decir, el hecho de presentar pérdidas y ganancias equivalentes no se relaciona con menores tiempos de respuesta, pero el obtener pérdidas o recompensas frecuentes parece facilitar respuestas con menor tiempo de respuesta conforme al nivel de impulsividad de los sujetos adolescentes. Sin embargo, esta respuesta de menor tiempo no fue dirigida hacia mayores elecciones de alta magnitud, ya que no se presentaron de esta forma en la condición desfavorable, si no que podría estar relacionada probablemente, con una menor habilidad ante el manejo del retraso en la gratificación, como ha sido reportado en algunos otros estudios (Steinberg et al., 2009; Romer et al., 2010).

Adicionalmente, se ha reportado que los rasgos de impulsividad no afectan directamente la toma de decisiones (Franken y Muris, 2005; Upton et al., 2011), pero sí pueden afectar el aprendizaje sobre las contingencias monetarias de perder y ganar (Franken et al., 2008; Upton et al., 2011). Sin embargo, al respecto ya se ha mencionado que los ajustes de conducta observados con base a las probabilidades de las condiciones con aprendizaje (favorable y desfavorable), sugieren que no se vió afectado el aprendizaje en estas circunstancias y coincide con otros estudios ante estos cambios de probabilidad (Holroyd y Coles, 2002; Eppinger et al., 2008; Bellebaum y Daum, 2008; Wash et al., 2011). Por lo tanto, la relación entre el nivel de impulsividad y las respuestas de menor tiempo mostrada sólo ante las condiciones con aprendizaje por parte de los adolescentes, parece relacionarse mayormente con una menor habilidad ante el manejo del retraso en la gratificación (Steinberg et al., 2009; Romer et al., 2010).

Resultados electrofisiológicos. Componente FRN

De acuerdo a lo que se esperaba, en el presente estudio se observó una mayor amplitud del componente FRN en el grupo de adolescentes en comparación con los adultos ante la retroalimentación de pérdida dentro de las tres condiciones. La mayor amplitud del FRN se presentó en la derivación Fz y coincide con otros estudios realizados con muestras de adultos (Gehring y Willoughby, 2002; Holroyd y Coles, 2002; Nieuwenhuis et al 2004; Masaki et al., 2006) y particularmente, con un estudio sobre el FRN en adolescentes y adultos (Zottoli et al., 2011). Así mismo, los resultados se muestran consistentes con la propuesta de una mayor sensibilidad hacia la retroalimentación externa por parte de los adolescentes que de los adultos y que se ve reflejada en una mayor amplitud del FRN (Zottoli et al., 2011; Hämmerer et al., 2011).

Como en el presente trabajo, dos de nuestras condiciones implicaron la presencia de aprendizaje por probabilidades y una condición no, es viable sugerir que además de que pudiera existir una mayor sensibilidad hacia la retroalimentación externa en los adolescentes que en los adultos (Zottoli et al., 2011; Hämmerer et al., 2011), esta sensibilidad se refleje independientemente de las probabilidades de pérdidas y ganancias y del aprendizaje.

Adicionalmente, se observaron diferencias en la latencia, pero sólo en la condición sin aprendizaje ante las pérdidas, implicando un mayor tiempo para los adolescentes que para los adultos. Estas diferencias sugieren un procesamiento más lento para los adolescentes específicamente en esta condición. De acuerdo con lo anterior, un estudio reciente reportó una mayor latencia en el FRN por parte de adolescentes de menor edad en comparación con adolescentes de mayor edad (10 a 17 años), interpretando ésto como una creciente dependencia de las representaciones internas más que de las externas y que se manifiesta con una latencia más corta a través del desarrollo (Crowley et al., 2013). Sin embargo, en este estudio la diferencia de latencia entre adolescentes y adultos sólo se presentó en la condición sin aprendizaje y no cuando se implicó aprendizaje, lo que sugiere una diferencia en el procesamiento asociado probablemente con la ausencia de aprendizaje. De esta forma, más allá de las características de desarrollo relacionadas con las representaciones de retroalimentación internas en los adolescentes (Eppinger et al., 2009; Hämmerer et al., 2011; Crowley et al., 2013), esta mayor latencia pudiera deberse a la presencia de incertidumbre.

Componente FRN ante las ganancias

Con respecto al componente FRN ante las ganancias, es preciso señalar que el hecho de que varios de los participantes adolescentes no presentaran este componente sobre todo en la condición neutral, refleja también diferencias importantes entre los grupos. Primero, que la sensibilidad hacia la retroalimentación externa por parte de los adolescentes puede mostrar características de voltaje distintas con base a la valencia. Segundo, que hay mayor variabilidad individual durante el periodo adolescente que en la edad adulta con respecto a la sensibilidad específica ante la retroalimentación externa de las ganancias. Tercero, que esta sensibilidad parece ser más evidente en condiciones con incertidumbre en la que no se pueden predecir los resultados.

Lo anterior puede ser explicado con base en las perspectivas teóricas actuales sobre el FRN (Holroyd y Coles, 2002; Gehring y Willoughby, 2002; Oliveira et al., 2007; Bellebaum y Daum, 2008; Eppinger et al., 2008; Eppinger et al., 2009; San Martín et al., 2010; Chase et al., 2011; Yu et al., 2011; Kreussel et al., 2012). La falta del componente FRN ante las ganancias por parte de algunos adolescentes en la condición neutral, pudiera estar relacionada principalmente con 3 características particulares: 1) la ausencia de aprendizaje (Holroyd y Coles, 2002; Sailer et al., 2010), 2) la incertidumbre (Rustichini, 2009; Yu et al., 2011) y 3) la sensibilidad hacia la recompensa (Bjork et al., 2004; Van Leijenhorst et al., 2010b; Padmanabhan et al., 2011; Santesso et al., 2011).

En relación al primer punto, distintos estudios han demostrado que el aprendizaje puede afectar considerablemente el potencial FRN y señalan que las probabilidades de pérdida y ganancia influyen en este sentido (Bellebaum y Daum, 2008; Santesso et al., 2008; Eppinger et al., 2008; Sailer et al., 2010). De acuerdo con la teoría del aprendizaje por reforzamiento, el FRN es generado cuando los resultados son peores de lo esperado (Holroyd y Coles, 2002), por lo tanto el aprendizaje sobre las recompensas y los castigos es un prerrequisito para generar una expectativa sobre los resultados (Holroyd y Coles, 2002; Hajcak et al., 2005; Unger et al., 2011; San Martín, 2012). En el caso de las tareas que presentan probabilidades de pérdida y ganancia equitativas y que suponen la ausencia de aprendizaje (Santesso et al. 2011; Zottoli et al., 2011), la explicación referente a las diferencias reportadas entre valencias (ganar y perder) se ha basado en distintos supuestos. Una posibilidad es que los participantes realicen

una evaluación sobre los resultados como buenos o malos (Yeung y Sanfey, 2004) o le otorguen un significado emocional al resultado (Gehring y Willoughby, 2002) o que las magnitudes puedan influir en la generación de expectativas (Santesso et al., 2011). También se ha propuesto que las tareas que presentan tanto retroalimentación positiva como negativa de manera equitativa, dificultan un aprendizaje sistemático debido a la presentación aleatoria de la recompensa (Hajcak et al., 2007). Con base en los resultados del presente estudio, el hecho de sólo haya diferencias en la latencia en la condición sin aprendizaje entre adolescentes y adultos, sugiere que la falta de orientación dada por la retroalimentación retarde el procesamiento en los adolescentes.

En relación con el segundo punto, se ha reportado que las circunstancias en las que no se pueden predecir los resultados implican un componente de incertidumbre (Rustichini, 2009). Tal es el caso de las tareas sin aprendizaje, en las cuales la igualdad de probabilidades de pérdida y ganancia no permiten la predicción de los resultados (Rustemeier et al., 2013). En este sentido, un estudio reciente reportó que el componente FRN ante la recompensa es sensible a la incertidumbre y se presenta un componente positivo mayor, que atenúa la polaridad negativa en comparación a situaciones con probabilidades de recompensa sesgadas (Yu et al., 2011). Los autores asociaron sus resultados con una mayor gratificación de recompensa ante las situaciones que presentan incertidumbre en comparación con las que no (Yu et al., 2011).

Finalmente, en relación con el tercer punto, algunos estudios con resonancia magnética funcional han señalado que los adolescentes muestran mayor activación en el estriado ventral ante las recompensas en comparación con los adultos, surgiendo así mayor susceptibilidad ante estos estímulos recompensantes (Bjork et al., 2004; Van Leijenhorst et al 2010b; Padmanabhan et al., 2011). En relación con esto, en el presente estudio se observó una tendencia a mostrar mayor sensibilidad a la recompensa en los adolescentes en comparación con los adultos. Con base en lo anterior, la ausencia del FRN por parte de algunos adolescentes en la condición sin aprendizaje, pudo deberse a la presencia de una deflexión positiva ante las ganancias y así atenuar este componente como se ha señalado en estudios previos (Holroyd y Coles, 2008). Estos resultados se muestran a favor de una modulación del potencial FRN ante situaciones de las ganancias (Yu et al., 2011) y sugieren mayor susceptibilidad

por parte de los adolescentes que de los adultos para este componente ante estas circunstancias, específicamente.

De igual manera, los resultados del actual estudio se muestran a favor de la variabilidad que puede darse en el periodo adolescente con respecto al componente FRN, como ha sido reportado recientemente (Crowley et al., 2013). Así mismo, estos resultados coinciden con algunos autores que han propuesto que el FRN que surge ante las recompensas puede ser influenciado por mecanismos neurales distintos al FRN que se presenta ante las pérdidas (Eppinger et al., 2009; San Martín et al., 2010; Kreussel et al., 2012).

Componente FRN ante las pérdidas versus ante las ganancias

Por otra parte, el análisis que se realizó sólo con el grupo de los adultos con respecto a las diferencias de amplitud entre perder y ganar no arrojó diferencias significativas en ninguna condición, contrario a lo que se esperaba.

La ausencia de diferencias podría estar en función de la falta de aprendizaje para formar expectativas de resultados que generaran un incremento en la amplitud en el caso de la condición sin aprendizaje. Algunos autores han señalado que los sujetos que no aprenden muestran menor amplitud del FRN, tanto ante resultados positivos como negativos y ésto podría deberse a que ponen menos cuidado a los resultados (Sailer et al., 2010). Con respecto a las condiciones con aprendizaje en la versión desfavorable la ausencia pudiera ser explicada por la mayor cantidad de pérdidas las cuales pueden generar una expectativa negativa de los resultados y así atenuar el componente FRN ante las pérdidas disminuyendo de esta forma la diferencia con el FRN ante las ganancias (Holroyd y Coles, 2002; Santesso et al., 2008; Sailer et al., 2010). Por su parte, aunque en la condición favorable se observó un aumento en la amplitud del componente FRN ante las pérdidas, no fue significativo con respecto al FRN ante las ganancias. Lo anterior sugiere que el cambio en las probabilidades si modificaron el componente FRN, sin embargo como la ausencia de diferencias se presentó en todas las condiciones podría ser que los adultos no le dieran tanto peso a los resultados de la tarea como pudieron haberlo hecho los adolescentes conforme se observó en el componente FRN ante la pérdida.

Finalmente, nuestros resultados muestran una tendencia de ajustes conductuales relacionados con la probabilidad de pérdidas y ganancias.

Particularmente en la condición desfavorable y en el caso de la versión favorable pudo verse solo al considerar los últimos ensayos sugiriendo que se requiere mayor número de estímulos para adecuar la conducta. Aunque para confirmar estos hallazgos, sería necesario realizar estudios futuros con que evalúen lo señalado.

Limitaciones del experimento.

Es importante señalar que el estudio fue realizado con 110 estímulos en cada bloque, por lo que efecto de aprendizaje se valoró con respecto a la comparación entre condiciones. Por lo tanto, sería conveniente que en estudios posteriores se pueda trabajar con mayor cantidad de bloques de una misma condición para tener un mayor margen de comparación del aprendizaje dentro de dicha condición tanto a nivel conductual como electrofisiológico.

Por otra parte, recapitulando lo realizado en el presente estudio la dirección de esta tesis se encausa en responder existen dificultades en el de monitoreo de la conducta que conlleva un involucramiento emocional en los adolescentes, tanto en situaciones con y sin aprendizaje en comparación con los adultos.

Con respecto a las tareas con aprendizaje ambos grupos mostraron una ejecución eficiente generando adecuaciones conductuales con una mayor cantidad de elecciones de baja magnitud que alta en la versión desventajosa y mostrando un aumento de elecciones más equitativas entre alta y baja magnitud durante los últimos ensayos de la versión favorable.

No obstante, ante dicha tareas con aprendizaje se observó una relación entre menor tiempo de reacción conforme el nivel de impulsividad en los adolescentes, sugiriendo así que la presencia de pérdidas o ganancias frecuentes puede afectar a los adolescentes solo en función de su respectivo nivel de impulsividad.

Por su parte en la condición sin aprendizaje al parecer los adolescentes presentan cierta vulnerabilidad de este sistema de monitoreo de la conducta y que pudo manifestarse de varias formas:

- 1) Los adolescentes mostraron mayor latencia del componente FRN sugiriendo un procesamiento más lento que fue específico para esta condición.

- 2) Los adolescentes no mostraron un patrón conductual en función de hacer elecciones de alta magnitud luego de perder esta misma cantidad como lo hicieron los adultos en esta condición.
- 3) Los adolescentes no alcanzaron a mostrar diferencias significativas entre elecciones de alta y baja magnitud como lo hicieron los adultos con mayores elecciones de baja magnitud. Aunque este último resultado parece estar en función de requerir un mayor número de ensayos por los adolescentes para elegir de forma semejante a los adultos, los puntos anteriores hacen suponer que pudiera ser parte de la misma vulnerabilidad ante la falta de orientación externa.

De acuerdo con lo anterior, los adolescentes mostraron una mayor amplitud en el componente FRN reflejando una mayor sensibilidad hacia la retroalimentación externa que los adultos como ha sido sugerido (Zottoli et al., 2011) y esta sensibilidad pudo verse independientemente de la presencia o ausencia de aprendizaje y de las probabilidades de perder o ganar. Sin embargo, la orientación de la conducta con base al monitoreo pudo haber involucrado diversas estructuras neurales en función de las tareas con y sin aprendizaje.

Se ha reportado que las señales de recompensa se utilizan para guiar la selección de la acción mediada por las áreas motoras del cíngulo a través del sistema dopaminérgico (Holroyd y Coles, 2002). La señal de error ante una recompensa negativa indica que los resultados son peores que los esperados por el sujeto. Se ha sustentado que esta señal provoca un decremento fásico en la actividad neural dopaminérgica que es recibida en el cíngulo anterior a través del área tegmental ventral y de esta manera se produce un FRN por la desinhibición en las dendritas de las neuronas motoras (Holroyd y Coles, 2002). Así mismo, ha sido sugerido que los ganglios basales tienen un papel crítico para la adaptación, ya que se considera que calcula el valor de los castigos y las recompensas y sus cambios conforme a los acontecimientos en curso (Holroyd y Coles, 2002).

Con base en nuestros resultados parece ser que los adolescentes pueden guiarse de manera correcta cuando hay una dirección de probabilidades (implicación de aprendizaje), posiblemente relacionada con la vía dopaminérgica en ganglios basales como ha sido sugerido (Holroyd y Coles, 2002). En cambio, en la condición sin aprendizaje el mecanismo pudo haber sido distinto. Diversos estudios con ganancias monetarias, han reportado una menor participación de la

corteza orbitofrontal en los adolescentes en comparación con los adultos (Galvan et al., 2006; Van Leijenhorst et al., 2010b; Padmanabhan et al., 2011). Algunos investigadores han sugerido que el núcleo accumbens precede al desarrollo de la corteza orbitofrontal durante la adolescencia por lo que pueden ser susceptibles a las ganancias (Galvan et al., 2006). Así mismo, se ha sugerido que en situaciones con incertidumbre particularmente los adolescentes presentan mayor activación de la ínsula reflejando inmadurez cerebral (Van Leijenhorst et al., 2010b). Así mismo, la atenuación del componente FRN ante las ganancias coincide con una mayor sensibilidad hacia la recompensa sobre todo en la condición con incertidumbre. Al respecto, algunos estudios han reportado que en los adolescentes se presenta una mayor activación del estriado ventral relacionado con el valor de las ganancias (Galvan et al., 2006; Van Leijenhorst et al., 2010b) y particularmente, se ha reportado que presentan mayor activación de la ínsula ante la anticipación de resultados en una situación con incertidumbre, sugiriendo un sistema de selección inmaduro (Van Leijenhorst et al., 2010b).

De esta forma, parece ser que los adolescentes muestran un sistema regulador endeble que se relaciona específicamente con el sistema de monitoreo ante las pérdidas y las ganancias. Tomando en cuenta que las tareas con pérdidas y ganancias monetarias pueden generar un impacto emocional (Gehring y Willoughby, 2002), es posible pensar que la conducta de elección funja como un sistema de regulación emocional (Hofer y Eisenberg, 2008). En este sentido se podría decir que los adultos regulan su situación emocional eligiendo mayor cantidad de opciones de baja magnitud en las condiciones con incertidumbre, gracias a la participación de la corteza orbitofrontal. En cambio, parece ser que los adolescentes al no tener una representación de guía interna dependiente de la participación de una corteza orbitofrontal completamente madura, aún dependen de la estimulación externa para regular su conducta.

Sin embargo, es necesario continuar trabajando al respecto para constatar estas especulaciones. Sería interesante considerar en estudios futuros las variaciones electrofisiológicas del FRN en adolescentes que se presentan específicamente en las tareas de aprendizaje declarativo y no declarativo.

9. Conclusión

Los resultados mencionados sugieren un monitoreo de la conducta funcional por parte de ambos grupos que genera adecuaciones conductuales conforme a la retroalimentación externa, sobre todo cuando se implica aprendizaje. Sin embargo, al parecer dicho monitoreo de la conducta sigue siendo vulnerable durante la adolescencia sobre todo en condiciones sin aprendizaje, es decir cuando no hay estímulos externos que guíen la conducta y que se relacionan con la incertidumbre, sugiriendo así un sistema regulador aún en desarrollo.

Referencias Bibliográficas

- Arnett, J. J. (1999). Adolescent Storm and Stress, Reconsidered. *American Psychologist*, 54, 317-326.
- Banks, S. J., Eddy, K. T., Angstadt, M., Nathan, P. J., y Phan, K. L. (2007). Amygdala–frontal connectivity during emotion regulation. *Social cognitive and affective neuroscience*, 2(4), 303-312.
- Bargh, J. A., y Gollwitzer, P. M. (1994). Environmental control of goal- directed action: automatic and strategic contingencies between situations and behavior. *Nebraska Symposium of Motivation*, 41, 71–124.
- Barratt, E. S. (1994). Impulsiveness and aggression. *Violence and mental disorder: Developments in risk assessment*, 10, 61-79.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., Damasio, A. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science* 275:1293-1295.
- Bechara, A., Damasio, H., y Damasio, A. R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral cortex*, 10(3), 295-307.
- Bechara, A., Damasio, H. y Damasio, A. (2003). The role of the amygdala in decision-making. En *The Amygdala in Brain Function: Basic and Clinical Approaches*.
- Bechara, A. (2005). Decision making, impulse control and loss of willpower to resist drugs: a neurocognitive perspective. *Nature neuroscience*, 8(11), 1458-1463.
- Bellebaum, C., Daum, I. (2008). Learning-related changes in reward expectancy are reflected in the feedback-related negativity. *The European Journal of Neuroscience* 27, 1823–1835.
- Bellebaum, C., Kobza, S., Thiele, S., Daum, I. (2010). It was not MY fault: event-related brain potentials in active and observational learning from feedback. *Cerebral Cortex* 20, 2874–2883.
- Bjork, J.M., Knutson, B., Fong, G.W., Caggiano, D.M., Bennett, S.M. y Hommer, D. (2004). Incentive-elicited brain activation in adolescents: Similarities and differences from young adults. *Journal of Neuroscience*, 24, 1793-1802.
- Blair, K., Marsh, A. A., Morton, J., Vythilingam, M., Jones, M., Mondillo, K., y Blair, J. R. (2006). Choosing the lesser of two evils, the better of two goods: specifying the roles of ventromedial prefrontal cortex and dorsal anterior cingulate in object choice. *The Journal of neuroscience*, 26 (44), 11379-11386.
- Blakemore, S. y Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: Implications for executive function and social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47, 296-312.
- Boyer T. (2006). The development of risk-taking: A multi-perspective review. *Developmental Review*, 26, 291-345.

- Brown, T. E. (1996). *Brown attention deficit disorder scales for adolescents and adults*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Burunat, E (2004). El desarrollo del sustrato neurobiológico de la motivación y emoción en la adolescencia: ¿un nuevo período crítico? *Infancia y Aprendizaje*, 27, 87-104.
- Chambers, R.A., Taylor, J.R. y Potenza, M.N. (2003). Developmental neurocircuitry of motivation in adolescence: A critical period of addiction vulnerability. *American Journal of Psychiatry*, 160, 1041-1052.
- Chase, H. W., Swainson, R., Durham, L., Benham, L., y Cools, R. (2011). Feedback-related negativity codes prediction error but not behavioral adjustment during probabilistic reversal learning. *J. Cogn. Neurosci.* 23, 936–946.
- Casas, R. J. J. Ceñal, G. Fierro M.J. (2005) Desarrollo del adolescente. Aspectos físicos, psicológicos y sociales. *Pediatría Integral*. IX (1):20-24
- Cohen, M. X., y Ranganath, C. (2007). Reinforcement learning signals predict future decisions. *The Journal of neuroscience*, 27(2), 371-378.
- Crone, E. A., Ridderinkhof, K.R., Worm, M., Somsen, R.J.M., y Van der Molen, M.W. (2004). Switching between spatial stimulus–response mappings: a developmental study of cognitive flexibility. *Developmental Science*, 7 (4), 443–455.
- Crone, E. A. (2009) Executive functions in adolescence: inferences from brain and behavior. *Developmental Science*. Volume 12, Issue 6, pages 825–830.
- Crowley, M. J., Wu, J., Hommer, R., South, M., Molfese, P. J., Fearon R. M. P., y Mayes L. C. (2013). A developmental study of the feedback- related negativity from 10–17 years: age and sex effects for reward versus non-reward. *Developmental neuropsychology*, 483-495.
- Damasio, A. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. New York. Putnam
- Damasio, A. (2000). A second chance for emotion. En R.D. Lane y L. Nadel (Eds) *Cognitive neuroscience of emotion*. New York and Oxford: Oxford University Press.
- Dennis, T. A., y Solomon, B. (2010). Frontal eeg and emotion regulation: Electrocortical activity in response to emotional film clips is associated with reduced mood induction and attention interference effects. *Biological psychology*, 85(3), 456-464.
- Domínguez, L. (2008). La adolescencia y la juventud como etapas del desarrollo de la personalidad. Distintas concepciones en torno a la determinación de sus límites y regularidades. *Boletín Electrónico de Investigación de la Asociación Oaxaqueña de Psicología*, 4(1), 69-76.

- Durston, S., Davidson, M.C., Tottenham, N.T., Galvan, A., Spicer, J., Fossella, J.A. y Casey, B.J. (2006). A shift from diffuse to focal cortical activity with development, *Developmental Science*, 9, 1-8.
- Dunning, J.P., Hajcak, G., 2007. Error-related negativities elicited by monetary loss and cues that predict loss. *Neuroreport* 18 (17), 1875–1878
- Ekman, P., y Davidson, R. (Eds.). (1994). *The nature of emotion. Fundamental questions*. New York Oxford University Press.
- Eppinger, B., Kray, J., Mock, B., Mecklinger, A., 2008. Better or worse than expected? Aging, learning, and the ERN. *Neuropsychologia* 46, 521–539.
- Eppinger, B., Mock, B., and Kray, J. (2009). Developmental differences in learning and error processing: evidence from ERPs. *Psychophysiology* 46, 1043–1053.
- Ernst, M., y Paulus, M. P. (2005). Neurobiology of decision making: a selective review from a neurocognitive and clinical perspective. *Biological psychiatry*, 58(8), 597-604.
- Ernst, M., Pine, D.S. y Hardin, M. (2006). Triadic model of the neurobiology of motivated behavior in adolescence. *Psychological Medicine*, 36, 299–312.
- Folstein J. R and Van Petten C. (2008) Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*.45 (1): 152–170.
- Franken, I. H., y Muris, P. (2005). Individual differences in decision-making. *Personality and Individual Differences*, 39(5), 991-998.
- Franken, I. H., van Strien, J. W., Nijs, I., y Muris, P. (2008). Impulsivity is associated with behavioral decision-making deficits. *Psychiatry Research*, 158(2), 155-163.
- Galvan, A., Hare, T. A., Parra, C. E., Penn, J., Voss, H., Glover, G., y Casey, B. J. (2006). Earlier development of the accumbens relative to orbitofrontal cortex might underlie risk-taking behavior in adolescents. *The Journal of Neuroscience*, 26(25), 6885-6892.
- Galvan, A., Hare, T. Voss, H., Glover, G. y Casey, B.J. (2007). Risk-Taking and the adolescent brain: who is at risk? *Developmental Science*, 10, 8-14.
- Garnefski, N., Legerstee, J., Kraaij, V., Van Den Kommer, T., Teerds, J.A.N. (2002). Cognitive coping strategies and symptoms of depression and anxiety: a comparison between adolescents and adults. *Journal of Adolescence*, 25, 603–11.
- Gehring, W.J., Willoughby, A. R., (2002). The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. *Science* 295 (5563), 2279–2282.
- 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, 861-863.

Gogtay, N., Giedd, J.N., Lusk, L., Hayashi, K.M., Greenstein, D., Vaituzis, C., Nugent, T.F., Herman, D.H., Classen, L., 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 USA*, 101, 8174-8179.

Goldberg, E. (2001). *The executive brain: Frontal lobes and the civilized mind*. Nueva York: Oxford University Press

Gray, J., Braver, T., y Raichle, M. (2002). Integration of emotion and cognition in the lateral prefrontal cortex PNAS 99, 4115-4120.

Gross, J.J. (1998). The emerging of emotion regulation: an integrative review. *Review of General Psychology*, 2, 271–299.

Gross, J.J., y Thompson, R.A. (2007). Emotion regulation: Conceptual foundations. En J.J. Gross (Ed.), *Handbook of emotion regulation* (pp. 3-24). New York, NY: Guilford Press.

Hajcak, G., Moser, J. S., Holroyd, C. B., y Simons, R. F. (2006). The feedback-related negativity reflects the binary evaluation of good versus bad outcomes. *Biological psychology*, 71(2), 148-154.

Hämmerer, D., Li, S.C., Müller, V., Lindenberger, U., (2010). Life span differences in electrophysiological correlates of monitoring gains and losses during probabilistic reinforcement learning. *Journal of Cognitive Neuroscience* 23, 579–592.

Herrmann C., S., y Knight, R. T. (2001). Mechanism of human attention: event-related potentials and oscillations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 25. 465-476.

Hofer, C. y Eisenberg, N. (2008). Emotion-related regulation: Biological and cultural bases. En Vandekerchove, Von Scheve, Ismer, Jung y kronast (Eds) *Regulating Emotions. Culture, social necessity, and biological inheritance*. Blackwell Publusing.

Holroyd, C. B., y Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109, 679–709.

Holroyd CB, Larsen JT, Cohen JD. (2004). Context dependence of the event-related brain potential associated with reward and punishment. *Psychophysiology* 41(2):245–253.

Holroyd C. B., Pakzad-Vaez K. L. and Krigolson O. E. (2008). The feedback correct-related positivity: Sensitivity of the event-related brain potential to unexpected positive feedback. *Psychophysiology*, 45 (2008), 688–697.

Hooper, C. J., Luciana, M., Conklin, H. M., y Yarger, R. S. (2004). Adolescents' performance on the Iowa Gambling Task: implications for the development of decision making and ventromedial prefrontal cortex. *Developmental psychology*, 40 (6), 1148.

Huizinga, M., Dolan, C.V., y Van der Molen, M.W. (2006). Age-related change in executive function: developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44 (11), 2017–2036.

Huizenga, H. M., Crone, E.A., y Jansen, B.J. (2007). Decision making in healthy children, adolescents and adults explained by the use of increasingly complex proportional reasoning rules. *Developmental Science*, 10 (6), 814–825.

Kahneman, D., y Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 263-291.

Kappas A. (2008). Psssst! Dr. Jekyll and Mr. Hyde are actually the same person! Emotion-related regulation: Biological and cultural bases. En Vandekerchove, von Scheve, Ismer, Jung y kronast (Eds). *Regulating Emotions. Culture, social necessity, and biological inheritance*. Blackwell Publishing.

Kim, J. K., y Bell, A. M. (2006). Frontal EEG asymmetry and regulation during childhood. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1094(1), 308-312.

Kreussel, L., Hewig, J., Kretschmer, N., Hecht, H., Coles, M. G., y Miltner, W. H. (2012). The influence of the magnitude, probability, and valence of potential wins and losses on the amplitude of the feedback negativity. *Psychophysiology*, 49(2), 207-219.

Kuhn, D. (2006). Do cognitive changes accompany developments in the adolescent brain? *Perspectives on Psychological Science*, 1, 59-67.

Ladouceur, C. D., Conway, A., y Dahl, R. E. (2010). Attentional control moderates relations between negative affect and neural correlates of action monitoring in adolescence. *Developmental neuropsychology*, 35(2), 194-211.

Larson, R. y Richards, M.H. (1994). *Divergent realities: The emotional lives of fathers, mothers, and adolescents*. Nueva York: Basic Books.

Laursen, B., Coy, K. C. y Collins, W. A. (1998). Reconsidering Changes in Parent-Child Conflict across Adolescence: A Meta-Analysis. *Child Development*, 69, 817-832.

Lezak M. D., Howieson D. B., Loring D. W., (2004) *Neuropsychological assessment* 4th ed. New York: Oxford University. 611-646.

Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique* Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Luna, B., Thulborn, K.R., Munoz, D.P., Merriam, E.P., Garver, K.E., Minshew, N.J. (2001). Maturation of widely distributed brain function subserves cognitive development. *NeuroImage*, 13, 786-793

Luu P., Collins P.,Tucker D. M. (2000). Mood, Personality, and Self-Monitoring: Negative Affect and Emotionality in Relation to Frontal Lobe Mechanisms of Error Monitoring. *Journal of Experimental Psychology: General*. Vol. 129, No. 1, 43-60.

McRae, K., Gross, J. J., Weber, J., Robertson, E. R., Sokol-Hessner, P., Ray, R. D., y Ochsner, K. N. (2012). The development of emotion regulation: an fMRI study of cognitive reappraisal in children, adolescents and young adults. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(1), 11-22.

Martín, C. A., Kelly, T. H., Rayens, M. K., Brogli, B. R., Brenzel, A., Smith, W. J., y Omar, H. A. (2002). Sensation seeking, puberty, and nicotine, alcohol, and marijuana use in adolescence. *Journal of the American academy of child & adolescent psychiatry*, 41 (12), 1495-1502.

Martínez-Selva, J. M., Sánchez-Navarro, J. P., Bechara, A., y Román, F. (2006). Mecanismos cerebrales de la toma de decisiones. *Revista de neurología*, 42(7), 411-418.

Masaki H., Takeuchi. S., Gehring W. J., Takasawa N., Yamazaki K. (2006). Affective-motivational influences on feedback-related ERPs in a gambling task. *Brain research*. 1105:110–121.

Mauss, I. B., Bunge, S. A., & Gross, J. J. (2008). Culture and automatic emotion regulation. *Regulating emotions: Culture, social necessity and biological inheritance*, 39-60.

Nelson, E., Leibenluft, E., McClure, E., y Pine, D. (2005). The social re-orientation of adolescence: A neuroscience perspective on the process and its relation to psychopathology. *Psychological Medicine*, 35, 163-174.

Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., Talsma, D., Coles, M. G., Holroyd, C. B., Kok, A., y Van der Molen, M. W. (2002). A computational account of altered error processing in older age: dopamine and the error-related negativity. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2 (1), 19-36.

Nieuwenhuis, S., Holroyd C. B., Mol, N., & Coles, M. G. H. (2004). Reinforcement-related brain potentials from medial frontal cortex: Origins and functional significance. *Neuroscience y Biobehavioral. Reviews*, 28, 441–448.

Nigg, J. T. (2005). Neuropsychologic theory and findings in attention-deficit/hyperactivity disorder: the state of the field and salient challenges for the coming decade. *Biological psychiatry*, 57(11), 1424-1435.

Ochsner, K., Bunge, S., Gross, J., y Gabrieli, J. (2002). Rethinking feelings: an fMRI study of the cognitive regulation of emotion. *Journal of cognitive neuroscience* 14, 1215-1229.

Oliva, A. (2003). Adolescencia en España a principios del siglo XXI. *Cultura y Educación*, 15, 373-383.

Oliva, A. (2007). Desarrollo cerebral y asunción de riesgos durante la adolescencia. *Apuntes de Psicología*, 25, 239, 254.

Oliveira, F. T., McDonald, J. J., y Goodman, D. (2007). Performance monitoring in the anterior cingulate is not all error related: expectancy deviation and the representation of action-outcome associations. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(12), 1994-2004.

- Padmanabhan, A., Geier, C. F., Ordaz, S. J., Teslovich, T., y Luna, B. (2011). Developmental changes in brain function underlying the influence of reward processing on inhibitory control. *Developmental cognitive neuroscience*, 1(4), 517-529.
- Parra, A. y Oliva, A. (2007). Una mirada longitudinal y transversal sobre los conflictos entre madres y adolescentes. *Estudios de Psicología*, 28, 93-107.
- Periáñez, J., y Barceló, F. (2004). Electrofisiología de las funciones ejecutivas. *Revista de Neurología*, 38, 359- 365.
- Piaget J. (1969) The intellectual development of the adolescent. En: *Adolescence: psychological perspectives*. New York: Basic Books.
- Posner, M. I., y Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, 58, 1–23.
- Rolls, E. (1999). *The brain and emotion*. Inglaterra: Universidad de Oxford.
- Rolls, E. T. (2000). The orbitofrontal cortex and reward. *Cerebral cortex*, 10 (3), 284-294.
- Romeo, R. D., y McEwen, B. S. (2006). Stress and the adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1094(1), 202-214.
- Romer, D., Duckworth, A. L., Sznitman, S., y Park, S. (2010). Can adolescents learn self-control? Delay of gratification in the development of control over risk taking. *Prevention Science*, 11(3), 319-330.
- Rustemeier, M., Schwabe, L., y Bellebaum, C. (2013). On the relationship between learning strategy and feedback processing in the weather prediction task—Evidence from event-related potentials. *Neuropsychologia*, 51(4), 695-703.
- Rustichini, A., Glimcher, P. W., Camerer, C., Poldrack, R., y Fehr, E. (2008). Neuroeconomics: Formal models of decision making and cognitive neuroscience. *Neuroeconomics: Decision making and the brain*, 33.
- Salier, U., Fischmeister, F. P. S., Bauer, H., (2010). Effects of learning on feedback-related brain potentials in a decision-making task. *Brain Research* 1342, 85–93.
- Santesso, D. L., Dzyundzyak, A., y Segalowitz, S. J. (2011). Age, sex and individual differences in punishment sensitivity: Factors influencing the feedback-related negativity. *Psychophysiology*, 48(11), 1481-1489.
- San Martín, R., Manes, F., Hurtado, E., Isla, P., and Ibanez, A. (2010). Size and probability of rewards modulate the feedback error-related negativity associated with wins but not losses in a monetarily rewarded gambling task. *Neuroimage* 51, 1194–1204.
- San Martín, R. (2012). Event-related potential studies of outcome processing and feedback-guided learning. *Frontiers in human Neuroscience*. 6: 304.

- Schoenbaum, G. y Setlow, B. (2003). Lesions of nucleus accumbens disrupt acquisition of odor-guided discriminations and reversals. *The Journal of Neuroscience*, 23, 9833-9841.
- Schwabe, L., y Wolf, O. T. (2012). Stress modulates the engagement of multiple memory systems in classification learning. *The Journal of Neuroscience*, 32, 11042-11049.
- Silva C, J. (2005). Regulación emocional y psicopatología: el modelo de vulnerabilidad/resiliencia. *Revista chilena de neuro-psiquiatría*, 43 (3), 201-209.
- Silvers, J. A., McRae, K., Gabrieli, J. D., 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.
- Sowell, E. R., Trauner, D. A., Gamst, A., y Jernigan, T. L. (2002). Development of cortical and subcortical brain structures in childhood and adolescence: a structural MRI study. *Developmental Medicine y Child Neurology*, 44(1), 4-16.
- Spear, L.P. (2002). Alcohol's effects on adolescents. *Alcohol Research & Health*, 26, 287-291.
- Spear, L.P. (2007). The psychobiology of adolescence. En K. Kline (Ed.), *Authoritative Communities: The Scientific Case for Nurturing Children in Body, Mind, and Spirit*. Nueva York: Springer Publishing.
- Steinberg, L. (2004). Risk-taking in adolescence: What changes, and why? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1021,51-58. Volume 16—Number 2 59
- Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (2), 69-74.
- Steinberg, L. (2007). Risk-taking in adolescence: New perspectives from brain and behavioral science. *Current Directions in Psychological Science*, 16, 55-59.
- Steinberg, L., Graham, S., O'Brien, L., Woolard, J., Cauffman, E., y Banich, M. (2009). Age differences in future orientation and delay discounting. *Child development*, 80 (1), 28-44.
- Tarazi, F.I., Tomasini, E.C. y Baldessarini, R.J. (1999). Postnatal development of dopamine D1-like receptors in rat cortical and striatolimbic brain regions: an autoradiographic study. *Developmental Neuroscience* 21, 43-49.
- Thomas, L.A., De Bellis, M.D., Graham, R., y LaBar, K.S. (2007). Development of emotional face recognition in late childhood and adolescence. *Developmental Science*, 10 (5), 547-558.
- Thorndike, E. L., (1911). *Animal Intelligence: Experimental Studies*. Macmillan, New York.

- Torrubia, R., Ávila, C., Caseras, X. y Molto, J. (2001). The sensitivity to punishment and sensitivity to reward questionnaire (SPSRQ) as a measure of Gray's anxiety and impulsivity dimensions. *Personality and Individual Differences*, 31, 837-862.
- Trepel c., Fox C. R., Russell, Poldrack A. (2005) Prospect theory on the brain? Toward a cognitive neuroscience of decision under risk. *Cognitive Brain Research* 23: 34–50.
- Unger, K., Heintz, S., y Kray, J. (2012). Punishment sensitivity modulates the processing of negative feedback but not error-induced learning. *Frontiers in human neuroscience*, 6.
- Upton, D. J., Bishara, A. J., Ahn, W. Y., y Stout, J. C. (2011). Propensity for risk taking and trait impulsivity in the Iowa Gambling Task. *Personality and individual differences*, 50(4), 492-495.
- Van Leijenhorst, L., Moor, B. G., Op de Macks, Z. A., Rombouts, S. A., Westenberg, P. M., y Crone, E. A. (2010a). Adolescent risky decision-making: neurocognitive development of reward and control regions. *Neuroimage*, 51(1), 345-355.
- Van Leijenhorst, L., Zanolie, K., Van Meel, C. S., Westenberg, P. M., Rombouts, S. A., y Crone, E. A. (2010b). What motivates the adolescent? Brain regions mediating reward sensitivity across adolescence. *Cerebral Cortex*, 20 (1), 61-69.
- Walsh, M. M., y Anderson, J. R. (2011). Modulation of the feedback-related negativity by instruction and experience. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(47), 19048-19053.
- Walsh, M. M., y Anderson, J. R. (2012). Learning from experience: Event-related potential correlates of reward processing, neural adaptation, and behavioral choice. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(8), 1870-1884.
- Weinberger, D.R., Elvevag, B. y Giedd, J.N. (2005). *The adolescent brain: A work in progress*.
- Yeung, N., y Sanfey, A.G., (2004). Independent coding of reward magnitude and valence in the human brain. *Journal of Neuroscience* 24 (28), 6258–6264.
- Yeung, N., Holroyd, C.B., Cohen, J.D., (2005). ERP correlates of feedback and reward processing in the presence and absence of response choice. *Cerebral Cortex* 15, 535–544.
- Yu, R., Zhou, W., y Zhou, X. (2011). Rapid processing of both reward probability and reward uncertainty in the human anterior cingulate cortex. *PloS one*, 6 (12), 29633.
- Zelazo, P. D., Carter, A., Reznick, S., y Frye, D. (1997). Early development of executive function: A problem-solving framework. *Review of general psychology*. Vol. 1 N° 2, 198-226
- Zelazo, P. D., y Müller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. En U Goswami (Ed) *Handbook of childhood cognitive development*. Oxford Back Well

Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., y Carlson, S. M. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the society for research in child development*, i-151.

Zottoli, T. M., y Grose-Fifer, J. (2012). The feedback-related negativity (FRN) in adolescents. *Psychophysiology*, 49 (3), 413-420.



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS**

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

COMITÉ DE ÉTICA

DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Monitoreo de la conducta en adolescentes ante una tarea de juego de apuesta con y sin implicación de aprendizaje: estudio con potenciales relacionados con eventos.

CON NÚMERO DE REGISTRO ET122012-146

RESPONSABLE Dra. Julieta Ramos Loyo

APROBADO SIN MODIFICACIONES

RECHAZADO

SUGERENCIAS: _____

RECHAZADO DEBIDO A: _____

En caso de haber sido evaluado con sugerencias, se requiere someter a re-evaluación el proyecto de investigación al Comité de Ética en un lapso máximo de 2 semanas a partir de esta fecha.

Se emite el presente DICTAMEN el día 20 de Marzo
de 2012, firmando los integrantes del Comité de Ética
del Instituto de Neurociencias.

Presidente


Dr. Alfredo Feria Velasco

Secretaria


Dra. Marisela Hernández González

Vocales:


Dr. Jacinto Bañuelos Pineda


Dr. Luis Francisco Cerdán Sánchez


Dr. Andrés A. González Garrido


Dr. Jorge Juárez González

Cep. Archivo