



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**MANIFESTACIONES ELECTROFISIOLÓGICAS DE
LA REORIENTACIÓN DE LA ATENCIÓN TRAS LA
DISTRACCIÓN: UN ESTUDIO CON POTENCIALES
RELACIONADOS A EVENTOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN PSICOLOGÍA

P R E S E N T A:

ROSA LIDIA LÓPEZ BEJARANO

DIRECTOR: DR. RODOLFO SOLÍS VIVANCO
REVISORA: DRA. OLGA ARACELI ROJAS RAMOS

COMITÉ:

DRA. ALEJANDRA EVELYN RUIZ CONTRERAS
ESP. GERARDO SÁNCHEZ DINORÍN
DRA. JOSEFINA RICARDO GARCELL



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., mayo 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"Una cosa que aprendí en una vida larga es que
toda nuestra **ciencia**, comparada con la realidad,
es **primitiva e infantil** y, sin embargo, es la
cosa más preciada que tenemos"

Albert Einstein

“Un hábil técnico podría hacer un cuerpo humano completo (...) un experto Frankenstein moderno podría llevar a cabo la hazaña.

¿Pero entonces qué?

Él habría hecho un cuerpo humano y lo impregnó con el elixir de la vida, pero para que esté realmente vivo tendría que hacer más que existir.

Tendría que **adaptarse, cambiar y responder**. (...)

Podemos estar determinados en una medida sorprendente por lo que dicen nuestros genes,

pero estamos aún más determinados por lo que hemos aprendido en nuestras vidas.”

Matt Ridley

Para Mamá: *Rosa María Bejarano*

“Yo llevo(...) en mi sangre,
el apellido del pan que se reparte,
de aquellas dulces manos que cortaron
del saco de la harina los calzoncillos de mi infancia,
de la que cocinó, planchó, lavó, sembró, calmó la fiebre,
y cuando todo estuvo hecho, yo ya podía sostenerme
con los pies seguros...”

Pablo Neruda

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a las personas especiales que enriquecieron mi vida de distintas maneras.

A mi mamá Rosa, por soportar una vida llena de dificultades, por mejorar la mía, por darme otras oportunidades de desarrollo, por darme fortaleza, su cuidado, apoyo y cariño.

A mi hermano Andrés, por hacer más feliz mi infancia, ser mi compañero de vida hasta ahora, por inspirarme para ser mejor siempre, y consentirme.

A mi papá Andrés por darme la vida, lo recordaré siempre, aunque ya no esté en mi mundo físico.

A mi abuelita Rosa, por apoyarme en cada momento, por hacer parte de mis obligaciones durante ésta jornada, por hacerme reír y darme comida deliciosa.

A mi tía Jose, por vivir parte de esta batalla junto a mi madre, brindarme su consejo y apoyo.

A mi tía Ángeles por brindarme una escucha adulta y soporte emocional durante esta etapa.

A mi tío Jaime Bejarano e Irma por apoyar a mi mamá cada vez, por su bondad y cariño.

A mis tíos Juan y Graciela, por su apoyo, escucha y por hacer más felices mis domingos.

A mis primos Miguel, Daniel Norma y Mayra por ser parte de mis locuras, momentos divertidos y compartir experiencias de aprendizaje.

A la Dra. Olga Rojas, por recibirme con cariño en su grupo de trabajo, por ser fuente de inspiración desde mi ingreso a la carrera a ser una profesionalista con valor, por inculcarme el amor por el conocimiento y las neurociencias, por confiar en mí.

Al Dr. Rodolfo Solís, por confiar en mí, y darme la oportunidad de aprender cosas nuevas a su lado, por instruirme con alta calidad, y apoyarme siempre. El presente trabajo es parte de su esfuerzo y dedicación también.

Al Mtro. Misael Luna por las enseñanzas, en lo académico, la vida, la música, por su cariño y apoyo incondicional.

A la Dra. Yaneth Rodríguez por brindarme la oportunidad de ser parte de su espacio de trabajo, y facilitarme cada una de las cosas necesarias.

A la Mtra. Mireya Chávez, por hacer que cada día de este proceso fuera más confortable y llevadero, por todo el cariño.

A Edith Justo, por ser mi guía académica y en la vida en todo este proceso, por tener siempre las palabras justas que me hicieran sentir mejor y enseñarme tantas cosas.

A Monse, por ser responsable y un pilar gigantesco de esto, por su apoyo y amor incondicional, por escuchar y aguantar mis aventuras, por estar para mí siempre y hacerme fuerte, eres la mejor.

A Ulises Castillo, por ser una persona especial, darme cariño infinito, respeto y apoyo incondicional, te adoro.

Al mejor equipo del planeta, el Staff de la semana del cerebro de la Facultad de Psicología, por escucharme, darme soporte y permitirme aprender cosas nuevas a su lado.

A Erika Meza, por ser una persona bellísima, optimista y bondadosa, y hacer más llevadero este proceso.

A mis amigos Mari, Chris, Manu, Brend, Vane, Belén, Sandy, por escuchar mis traumas y darme soporte en distintos momentos durante toda la carrera.

A todas mis compañeros y compañeras del Departamento de Neuropsicología y Grupos de Apoyo por hacer más amena mi estancia y enseñarme cosas nuevas.

A mi comité por brindarme los comentarios pertinentes a fin de mejorar tanto en el presente trabajo, como en los aprendizajes que del mismo resultaron para la vida.

A la UNAM, por darme la oportunidad de andar y estudiar en sus instalaciones de una forma majestuosa.

Cada uno de ustedes es y serán muy importantes en mi vida, les reitero mi agradecimiento y aprecio.

ÍNDICE

RESUMEN	7
I. ANTECEDENTES	8
1. Atención	8
2. Modelos atencionales	11
2.1 Modelo de Treisman	11
2.2 Modelo de Broadbent	11
2.3 Modelo de Norman y Shallice	12
2.3 Modelo de Mesulam	12
2.3 Modelo de Posner y Rothbart	13
3. La atención involuntaria	15
3.1 Un modelo de tres fases	16
4. Electrofisiología de la atención involuntaria	19
4.1 N1 y MMN	21
4.2 P3a	23
5. Reorientación atencional (RON)	24
II. JUSTIFICACIÓN	30
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	31
IV. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	32
V. HIPÓTESIS	32
IV. OBJETIVO GENERAL	33
1. Objetivos Específicos	33
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	34
1. Participantes	34

2. Procedimiento	34
3. Adquisición de la señal	35
4. Tarea Experimental	36
5. Análisis de la señal	39
6. Análisis Estadístico	40
VII. RESULTADOS	42
1. Resultados Conductuales	42
2. Potenciales Relacionados con Eventos (PRE)	44
2.1 Análisis de la Latencia de los componentes	44
2.2 Análisis de la Amplitud de los componentes	47
IX. DISCUSIÓN	53
X. CONCLUSIONES	62
XI. REFERENCIAS	64
XII. ANEXOS	69

RESUMEN

El proceso atencional implica la selección de estímulos, así como ignorar activamente otros. Específicamente, la atención involuntaria permite la detección y el procesamiento de estímulos inesperados fuera del foco atencional en curso, pero que podrían resultar biológicamente relevantes para la conducta. En términos temporales, la atención involuntaria se ha descrito bajo un modelo trifásico, expresado en niveles funcionales: 1) el monitoreo y detección automática de cambios en el contexto sensorial, 2) la orientación involuntaria o distracción, y 3) la reorientación del *set* atencional óptimo hacia la tarea que se realizaba antes de la distracción. Cada una de estas fases se ha descrito en paralelo a un componente electrofisiológico obtenido mediante la técnica de potenciales relacionados con eventos (PRE). Estos componentes corresponden respectivamente, a la Negatividad de disparidad (*Mismatch Negativity*, MMN), la onda P3a y la Negatividad de reorientación (*Reorientation Negativity*, RON). Mientras que el rol funcional de la MMN y la P3a ha sido ampliamente documentado, se sabe mucho menos acerca de la representatividad de la RON como correlato de la reorientación de la atención. Esto debido a que dicho PRE suele observarse bajo condiciones experimentales que no requieren que se efectúe dicha reorientación (ya que el distractor es relevante y por ende requiere ser atendido y procesado). Adicionalmente, se ha observado la participación de regiones pre-motoras en su generación. Dichos antecedentes conducen a plantear una re-evaluación del rol del componente RON como manifestación electrofisiológica de la reorientación de la atención, así como de su posible vínculo con la respuesta motora. El objetivo del presente estudio fue describir y explicar los efectos de la manipulación de la relevancia de los estímulos distractores y la ejecución de una respuesta motora sobre la aparición del componente electrofisiológico RON, con base en el modelo de atención involuntaria mencionado. Se incluyeron 14 adultos jóvenes sanos, quienes realizaron una tarea auditiva de atención involuntaria compuesta por cuatro condiciones experimentales, combinando la relevancia o irrelevancia del estímulo distractor con la presencia o ausencia de respuesta motora. Los resultados indican que la RON es evocada independientemente de la relevancia del distractor o si éste conlleva o no una respuesta motora asociada. En contraste, no se observó el componente cuando la atención está dirigida fuera del foco auditivo (p.ej. hacia una lectura). Lo anterior sugiere que la RON representa la activación general de la atención posterior a la distracción a fin de focalizarla en la tarea en curso. Adicionalmente, estos resultados dejan abierta la posibilidad de relacionar su aparición a aspectos cognitivos que tienen que ver con la planeación de la respuesta motora, más que a su ejecución. Investigaciones posteriores podrían aclarar mejor este punto.

II. ANTECEDENTES

1. ATENCIÓN

Los organismos son impactados continuamente por información externa e interna, y tanto, la evolución ha impactado sobre los comandos cerebrales que le permiten seleccionar la información pertinente, posibilitando la modulación de sus respuestas en la interacción con su contexto, lo que repercute en su supervivencia. Así, la atención, adquiere una alta relevancia, pues es un proceso cuya función primordial es dicha selección, y de la cual depende la correcta implementación de otros procesos (Lu, 2008).

A pesar del avance en la investigación sobre la atención, su definición ha sido compleja y aún no existe un consenso sobre la misma. Una de las definiciones de atención más antiguas, pero también de las más citadas y aceptadas, es la propuesta por James (1890): *“Es la toma de posesión por la mente, de forma clara y vívida, de uno de los que parecen ser diferentes objetos o líneas de pensamiento que suceden de forma simultánea. Su esencia son la focalización y la concentración de la conciencia. Implica dejar de lado algunas cosas para poder tratar de forma efectiva otras”* (p.917).

Tomando lo anterior como referente, la atención no corresponde entonces a un proceso unitario, sino a un sistema funcional complejo, dinámico, multimodal y jerárquico que facilita el procesamiento de la información, seleccionando los estímulos pertinentes para realizar una determinada actividad sensorial, cognitiva o motora (Portellano y García-Alba, 2014). Implica enfocar los recursos cognitivos en un objetivo específico o meta, dejando fuera de foco a otros. La selección de ese objetivo depende de las características físicas del mismo, su ubicación, su relevancia enmarcada en la meta, y las motivaciones del individuo (Mackie, Van Dam y Fan, 2013;

Sokolov, 1990). Una vez seleccionado el estímulo objetivo, la implementación atencional se encargará de que reciba un procesamiento preferencial, atenuando la competencia de otros estímulos irrelevantes al momento (Gazzaniga, 2009).

A fin de simplificar su comprensión global, se ha propuesto que la atención se articula en tres niveles de complejidad creciente de acuerdo con Portellano (2005):

1) Estado de Alerta

Se refiere a la vigilancia del contexto de estimulación y representa la base para el procesamiento atencional, constituyendo su nivel más elemental y primario (Sternberg, 2011). Implica la capacidad de una persona para atender un campo de estimulación por un periodo prolongado de tiempo durante el cual se mantiene al sistema al tanto de la posibilidad de ocurrencia de un estímulo que no es constante, pero potencialmente relevante (Berti y Schröger, 2006; Escera y Corral, 2007; Escera, Alho, Schroger y Winkler, 2000a; Horváth, Winkler y Bendixen, 2008a).

Es común describir este nivel mediante dos subdivisiones: la atención tónica y la atención fásica. La *atención tónica* se refiere a un nivel mínimo necesario de activación del sistema nervioso, susceptible a modificación bajo determinadas condiciones, y se implementa neuralmente a nivel de la formación reticular y sus conexiones con la corteza. La *atención fásica* por su parte, representa la capacidad para dar una respuesta rápida ante un estímulo súbito y se vincula al reflejo de orientación (RO) (Escera y Corral, 2003). Este tipo de atención sería implementada por un sistema de comparación de estímulos encabezado por el hipocampo. Entre más difiera un estímulo nuevo respecto a otro presentado con anterioridad, las células asociadas a ese estímulo pasado en el hipocampo, incrementan su tasa de disparo, aumentando a su vez la actividad de la formación

reticular en solicitud de modificación del foco atencional (Cohen, 2014), esto último con apoyo adicional del tálamo y estructuras corticales (Corbetta, Patel y Shulman, 2008).

2) *Atención Sostenida*

Una vez establecido el nivel de activación, se puede optimizar la atención hacia cierto estímulo, mediante la atención sostenida. Ésta involucra el mantenimiento del foco atencional ante estímulos distractores y resistiendo a la fatiga. Consiste en procesar un patrón de estímulos determinado de la manera más eficazmente posible (Portellano, 2005).

3) *Atención Selectiva*

Constituye el nivel más alto en los procesos atencionales. Involucra la capacidad para la selección e integración de estímulos determinados por facilitación del procesamiento de algunos e inhibición de otros, o la alternancia entre estos (Gazzaniga, 2009). Constituye un procedimiento activo que está permeado de las motivaciones e intereses individuales ante una meta. Se refiere a la capacidad general para focalizarse de manera consciente en un estímulo durante ciertos periodos de tiempo (Filley, 2002).

Dentro de este nivel del proceso atencional pueden involucrarse otras modalidades de la atención. Por ejemplo, *la atención alternante*, que se refiere a la capacidad para mover el foco de atención de un estímulo a otro y *la atención dividida* que responde a la capacidad para atender simultáneamente a diferentes estímulos envueltos en la misma tarea (Cohen, 2014).

2. MODELOS ATENCIONALES

La búsqueda de respuestas para comprender el proceso atencional ha llevado a la elaboración de diversos modelos, que esquematizan las diferentes funciones de la atención y cómo interactúan para cumplir con un objetivo. En los siguientes modelos (descritos en el orden cronológico en que fueron propuestos) se señala el proceder teórico de la atención, sus interacciones con otros procesos cognitivos, así como su implementación a nivel estructural-anatómico.

2.1 Modelo de Treisman

El modelo de la Atenuación atencional de Treisman (1964) propone la existencia de un filtro, al igual que el modelo de Broadbent (descrito más adelante). Sin embargo, Treisman refiere que el filtro no bloquea la entrada de información completamente, sino que ésta sólo es atenuada. Es decir, la información se mantiene pasando por todos los niveles de procesamiento, pero no en su totalidad y tendrá oportunidad de acceder al procesamiento atencional dependiendo de su umbral para captar la atención; por ejemplo, palabras con bajo umbral (como el nombre propio), dada su significancia, serán fácilmente captadas, mientras que palabras con un umbral alto como “silla” serán filtradas con facilidad (Friedenberg, 2006).

2.2 Modelo de Broadbent

El modelo propuesto por Broadbent (1969) señala la existencia de filtros que ocurren en niveles tempranos del procesamiento y permiten la selección de la información a la cual se debe responder. Su planteamiento reside en la idea de que múltiples canales de entrada sensorial llegan

a un filtro atencional temprano, el cual selecciona y sólo permite la entrada de un canal de información que alcanzará la percepción en un procesamiento serial (Sternberg, 2011). La información completamente nueva se guarda en un almacén de corto plazo, mientras que la información pasada se acumula en un almacén a largo plazo. Únicamente aquella información que atraviesa el sistema perceptual puede llegar al almacén a largo plazo, convirtiéndose en nuevos aprendizajes. De acuerdo con este modelo, la selección de la información depende totalmente del filtro, basado en las características físicas del estímulo (Friedenberg, 2006).

2.3 Modelo de Norman y Shallice

El modelo de Norman y Shallice (1980), citado en (Portellano, 2005), presenta dos modalidades de procesamiento: el procesamiento automático y el controlado. El procesamiento automático está dado por el programa de *arbitraje o contención*, es decir, un programa encargado de un tipo de procesamiento rápido, que requiere poco esfuerzo del sujeto y es comúnmente estereotipado (Ruiz, 1993). Por su parte, el procesamiento controlado es llevado a cabo por el sistema supervisor de atención (SSA). El procesamiento automático permitiría el procesamiento de múltiples canales de información al mismo tiempo. Cuando aparece información nueva, el SSA se activa, controlando la toma de decisiones, corrección de errores o las situaciones de peligro al respecto.

2.4 Modelo de Mesulam

Para Mesulam (1981) el proceso atencional se estructura en dos sistemas interdependientes denominados matriz atencional y vector atencional. La matriz atencional o función de estado, se

encarga de la regulación de la capacidad general para procesar la información, el nivel de alerta, vigilancia y resistencia a la interferencia. La implementación estructural de la matriz atencional reside en núcleos de la formación reticular mesencefálica, el tálamo y áreas heteromodales de la corteza (Portellano y García-Alba, 2014). Por su parte, el vector o canal atencional se relaciona con los procesos de atención selectiva y la direccionalidad de la atención. Las funciones del vector atencional estarían vinculadas con la función del lóbulo parietal.

Así mismo, Mesulam (1981) menciona cuatro estructuras cerebrales básicas para el procesamiento atencional:

- 1) Sistema Reticular: Se encarga del mantenimiento de alerta.
- 2) Sistema Límbico y giro cingulado: Regulan los aspectos motivacionales.
- 3) Sistema Frontal: Modula los programas motores dirigidos a objetivos.
- 4) Sistema Parietal: Genera la representación del mapa sensorial interno.

2.5 Modelo de Posner y Rothbart

Uno de los modelos más citados dentro del campo de las neurociencias cognitivas corresponde al modelo de Posner y Rothbart (2007). La propuesta inicial reside en la existencia de dos sistemas anatómicos de regulación atencional, uno anterior y otro posterior, con estructuras que interactúan para responder a las demandas atencionales. El sistema de atención posterior se conforma por los tubérculos cuadrigéminos del tallo cerebral, el tálamo y el lóbulo parietal, y se encarga de la orientación viso-espacial, la atención involuntaria y el RO. Por su parte, el sistema de atención anterior sería el responsable de la detección de eventos, y está relacionado con el

control voluntario de la atención y la atención focalizada, implicando la participación principal del cíngulo y áreas frontales (Posner y Petersen, 1990).

A su vez, este modelo propone la intervención de tres redes neurales básicas que controlan la atención; estas redes comprenden (1) Un subsistema encargado del mantenimiento del estado de vigilia o alerta; (2) Un subsistema encargado de orientación a eventos; y (3) Un subsistema encargado del control ejecutivo (Fan y Posner, 2004; Posner y Petersen, 1990). La red de alertamiento permite monitorear el espacio, generando estados tónicos y fásicos de preparación con el objetivo de generar una respuesta (Xuan *et al.*, 2016), generando un estado de alta sensibilidad ante cualquier estímulo que pudiera ocurrir. Esta red se ve asociada con la activación del *locus coeruleus*, la corteza frontal derecha, la corteza parietal (Posner y Rothbart, 2007) y la ínsula anterior (relacionada de manera importante con el procesamiento de estados somáticos), así como una influencia marcada por sistemas de neurotransmisión de noradrenalina a nivel del tallo cerebral (Posner y Petersen, 1990; Xuan *et al.*, 2016).

Una vez establecido el nivel de alerta, el segundo subsistema puede orientar la atención de dos formas: de manera voluntaria, de acuerdo con las metas y objetivos personales, y de manera involuntaria, guiada por la estimulación externa (Redolar, 2014). La orientación se ha vinculado a la activación del lóbulo parietal posterior, el campo frontal de los ojos (CFO), el colículo superior (CS) y el núcleo pulvinar del tálamo, modulado por el sistema colinérgico (Visintin *et al.*, 2015). Finalmente, el subsistema del control ejecutivo atencional involucra el monitoreo y la resolución de conflictos ante los pensamientos, sentimientos y respuestas. Éste está expresado principalmente y de acuerdo con el presente modelo en el funcionamiento del cíngulo anterior, la corteza prefrontal y los ganglios basales, bajo la regulación química de la dopamina principalmente (Posner y Rothbart, 2007).

Este modelo es el más utilizado, ya que reúne la explicación anatómica, neuroquímica y funcional del proceso atencional en términos simples y dejando una idea general de su ocurrencia.

Un tipo de atención que se involucra en diferentes momentos de estos modelos y que se relaciona con los tipos de control de la atención, es la atención involuntaria, sobre ésta se ha edificado todo un contexto teórico dada su relevancia en el procesamiento atencional biológicamente hablando.

3. ATENCIÓN INVOLUNTARIA

Varios de los modelos descritos coinciden, aunque no de manera explícita, en que el control de la atención puede darse de dos formas básicas: 1) por medio de una selección consciente, dirigida, activa y voluntaria de los estímulos, teniendo en cuenta las necesidades actuales de la tarea e involucrando un control ejecutivo “de arriba-abajo” denominado *top-down* o 2) una selección pasiva e involuntaria, determinada por las características salientes o novedosas de los estímulos, es decir, mediante cambios representativos en el contexto de estimulación que ha venido siendo estable y que desencadena la atracción de recursos atencionales, un control llamado “de abajo-arriba” o *bottom-up* (Escera *et al.*, 2000a).

Entonces, se sabe que la atención voluntaria, bajo un tipo de control *top-down*, nos permite la selección de estímulos relevantes de manera consciente y dirigida, tanto endógenos como exógenos. Por su parte, la atención involuntaria permite captar estímulos potencialmente relevantes aun cuando el foco atencional está dirigido a otra meta o estímulos; correspondiendo al tipo de control *bottom-up*, que hace referencia a un cambio en la atención originado en las condiciones

ambientales y dadas las características de los estímulos (Escera y Corral, 2003), lo que constituye propiamente una distracción.

La distracción, de acuerdo con Berti (2013), permite el procesamiento de información novedosa que llega al sistema, ajustándola a la ya existente y promoviendo la flexibilidad de la conducta. Esta flexibilidad resulta de gran efectividad como prerequisite para la conducta adaptativa ante un entorno cambiante que constantemente ofrece nuevos desafíos, asegurando el éxito y la correcta implementación de la conducta orientada a una meta (Holig y Berti, 2010).

De acuerdo con Escera y Corral (2007), la “atracción” involuntaria de la atención no es completamente dependiente de las características de los estímulos, depende de otros factores tales como la demanda atencional que requiere la tarea primaria, la motivación involucrada en ésta y la valencia emocional del estímulo. El cambio atencional de forma involuntaria se puede producir, por ejemplo, ante la ocurrencia transitoria de información que sobresale de la estimulación actual, incluyendo información con contenido de relevancia personal, como escuchar nuestro nombre en una conversación no atendida o la emergencia del llanto de un bebé para la madre, todos son estímulos biológicamente importantes (Wetzel y Schröger, 2014).

3.1 Un modelo de tres fases de la atención involuntaria: Detección de disparidades, Orientación y Reorientación atencional.

El proceso que corresponde a la atención involuntaria se ha dividido en tres fases funcionales básicas que ocurren ante la presencia de un estímulo inesperado y sobresaliente respecto al ambiente.

La primera de estas tres fases se refiere a aquella en la cual el sistema sensorial se encuentra en un monitoreo constante del ambiente. Este monitoreo corresponde con el establecimiento del nivel de alerta y está permeado por la generación de predicciones sobre la estimulación futura a partir de información memorística previa. El contraste entre estas predicciones y la ocurrencia de un estímulo novedoso o dispar inicia la detección automática de esta disparidad en el contexto sensorial, que había sido estable hasta ese momento (Alho, Escera, Diaz, Yago y Serra, 1997; Berti y Schröger, 2006; Escera y Corral, 2003; Escera y Corral, 2007; Escera *et al.*, 2000a; Escera, Alho, Schroger y Winkler, 2000b; Holig y Berti, 2010; Horváth *et al.*, 2008a; Wetzel y Schröger, 2014).

Lo anterior representa la apertura del sistema sensorial para procesar eventos novedosos que no fueron anticipados. Esta apertura y la detección de la discrepancia en el contexto es a lo que se refiere el término *oddball*, cuando hablamos del paradigma denominado así, representado en la Figura 1 como la disparidad. Es pertinente mencionar que aun cuando hablamos de un mecanismo automático inicial, podemos observar que hay procesos controlados involucrados a lo largo del proceso (Wetzel y Schröger, 2014).

Cuando la disparidad es relevante o saliente dadas sus características físicas o simbólicas, se avanza hacia la segunda fase propuesta en el modelo. En ella hablamos propiamente de una distracción, dada la interrupción de la meta vigente por la orientación de los recursos atencionales hacia un nuevo estímulo y, que corresponde al RO (Sokolov, 1963). En esta fase ocurre también el análisis semántico y motivacional del estímulo distractor con el objeto de tomar decisiones sobre el mismo (Escera, Yago, Corral, Corbera y Nunez, 2003), dando paso a la tercera fase del modelo.

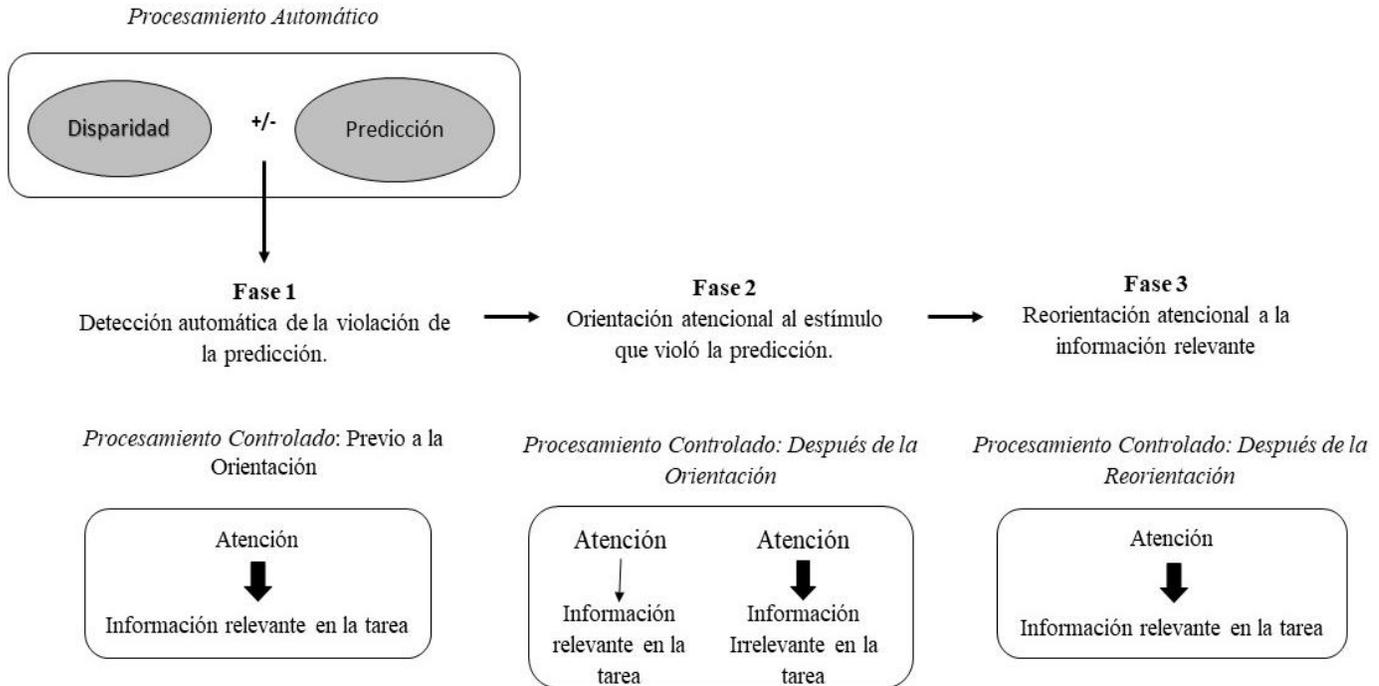


Figura 1. Se Muestran las tres fases secuenciales de la atención involuntaria. El proceso en la fase 1 se inicia con la detección automática de la disparidad mientras la atención se encuentra voluntariamente dirigida a la meta relevante. La fase 2 implica que la carga atencional se direcciona mayoritariamente a la información nueva irrelevante, indicado por la flecha más oscura. La fase 3 representa el retorno de la carga atencional hacia la información relevante (Tomado y modificado de Wetzler y Schröger (2014)).

La tercera fase del modelo está asociada a la necesidad de restaurar la atención a la meta inicial una vez que se ha analizado el estímulo saliente y se ha concluido que es irrelevante y por tanto, no requiere de recursos atencionales (Horváth, Czigler, Birkas, Winkler y Gervai, 2009). Bajo estas condiciones el *set* atencional se reestructura para cumplir con la tarea, por lo que ocurre la reorientación de dichos recursos (Schröger y Wolff, 1998a).

Adicionalmente al modelo cognitivo y funcional de atención involuntaria explicado aquí, se ha propuesto en paralelo un modelo de tres fases que proporciona una explicación en torno a la dinámica fisiológica y temporal del primero, basándose en el análisis de potenciales relacionados

a eventos (Escera *et al.*, 2000a; Näätänen, Teder, Alho y Lavikainen, 1992; Schröger y Wolff, 1998a).

4. ELECTROFISIOLOGÍA DE LA ATENCIÓN INVOLUNTARIA

Los potenciales relacionados con eventos (PRE) son cambios en el voltaje de la actividad eléctrica cerebral registrados mediante electrodos, que están ligados en tiempo y fase a la presentación de un estímulo, y reflejan el procesamiento de información llevado a cabo por agrupaciones de neuronas en términos de milisegundos (Escera *et al.*, 2000a).

Estos potenciales adoptan la forma de picos y valles ondulatorios obtenidos a partir del registro de un electroencefalograma (EEG) tradicional, sobre el cual se seleccionan segmentos de señal que se vinculan en el tiempo con la presentación repetida de algún evento sensorial, motor o cognitivo de interés, para luego ser promediados (Solís-Vivanco, 2011).

Los PRE reflejan la suma de potenciales postsinápticos (PPS) que ocurren de manera simultánea en las células piramidales en la corteza cerebral, principalmente, y que se encuentran orientadas de manera similar entre sí respecto al cuero cabelludo. Cuando ocurre un PPS en una neurona, éste puede considerarse como un dipolo, con carga negativa en un extremo y carga positiva en el otro. Cuando los dipolos de diversas neuronas sincronizadas se suman apuntando a la misma dirección, forman un dipolo mayor conocido como *dipolo de corriente equivalente* (Luck y Kappenman, 2012). La suma o cancelación de estos dipolos es lo que observamos en el EEG en términos de una onda.

Un componente de PRE se refiere al cambio en el voltaje registrado a nivel del cuero cabelludo que se asocia a un proceso neural o psicológico específico (Luck y Kappenman, 2012).

Cada uno de los componentes que se obtienen mediante ésta técnica se estudian y definen en torno a su polaridad, latencia, topografía y sensibilidad a las características de la manipulación experimental.

Algunos PRE han sido sugeridos como marcadores de la activación de redes cerebrales relacionadas con los diferentes estadios de la atención involuntaria (Escera y Corral, 2003; Escera y Corral, 2007; Escera, Corral y Yago, 2002; Näätänen y Alho, 1997; Polo *et al.*, 2003; Schröger y Wolff, 1998a; Sutton, Braren, Zubin y John, 1965). De hecho, la construcción del modelo de la atención involuntaria antes mencionado, ha echado mano de las explicaciones generadas en parte por el análisis de PRE que resultan de paradigmas experimentales tipo *oddball*, principalmente de tipo auditivo (Horváth *et al.*, 2009; Schröger y Wolff, 1998a). En estos paradigmas, se pide al sujeto discriminar tonos puros de acuerdo con alguna característica física, generalmente por su duración. A estos estímulos se les denomina *estímulos estándar*, ya que además de no variar en su dimensión física de frecuencia, ocupan la mayor parte de los ensayos dentro de la tarea (Schröger y Wolff, 1998b). La detección de estos estímulos comúnmente constituye la meta primaria en el paradigma y lo que es considerado relevante dentro de la misma. Adicionalmente, se presentan con una menor probabilidad tonos denominados *infrecuentes o desviados* que difieren en otra característica física además de la duración, generalmente frecuencia (Hz), los cuales, al estar inmersos en la misma secuencia junto a los *estímulos estándar*, atraen temporalmente los recursos atencionales. El efecto distractor atribuido a los estímulos infrecuentes es comúnmente corroborado por las observaciones a nivel conductual bajo este paradigma: mayores tiempos de reacción y mayor porcentaje de error. Dichos efectos han encontrado explicación en la necesidad de detección del cambio en los estímulos auditivos adicional al que se solicita bajo instrucciones y que involuntariamente capta la atención dificultando la clasificación de los mismos y su

procesamiento enlenteciendo la respuesta y con mayor probabilidad de cometer errores en la misma (Escera, Yago y Alho, 2001; Schröger, Giard y Wolff, 2000; Schröger y Wolff, 1998b).

La secuencia de PRE registrados bajo este paradigma consiste en la evocación de una onda de morfología compleja, tanto para el estímulo estándar como para el desviado, sin embargo, bajo la manipulación aritmética, por medio de la resta de la señal del estímulo frecuente a la del estímulo infrecuente, se acentúa la señal evocada por el estímulo infrecuente. Esta resta aritmética acentúa una onda de morfología compleja, que se ha descompuesto en tres componentes principales, denominados en conjunto como “Potencial de distracción” por Escera y Corral (2003).

Otros autores han empleado variaciones en paradigmas *oddball* en los cuales se incluyen estímulos que corresponden a una modalidad sensorial diferente, pudiendo ser una tarea visual-auditiva o puramente visual y modificando ligeramente las condiciones antes descritas (Berti y Schröger, 2006; San Miguel, Corral y Escera, 2008; Sussman, Winkler y Schroger, 2003). Cabe señalar que este potencial no presenta modificaciones independientemente del tipo de modalidad sensorial bajo la cual se presenten los estímulos, comprobado al menos entre la modalidad visual y auditiva (Berti y Schröger, 2006)

Éstos componentes se corresponden funcionalmente con las tres fases del modelo de atención involuntaria mencionado antes, y se describen con más detalle a continuación.

4.1 N1 y MMN

La atención auditiva temprana bajo un contexto de estimulación invariable, mantiene el *set* atencional actual pero ante la ocurrencia de un estímulo que sobresale al contexto, se habla de dos mecanismos que reflejan el inicio de la atención involuntaria: 1) el mecanismo basado en la

reacción transitoria a los incrementos y decrementos de la energía acústica del estímulo, lo cual encuentra su correlato neurofisiológico en el incremento de amplitud del componente N1 auditivo, una onda negativa que se observa alrededor de los 100 milisegundos posteriores a la presentación del estímulo auditivo, y 2) el mecanismo basado en la detección de disparidades en el contexto acústico, representado por uno de los PRE más estudiados en la literatura tanto en personas sanas como en pacientes: la Negatividad de disparidad (*Mismatch Negativity*, MMN).

La MMN consiste en una onda de polaridad negativa que aparece entre los 100 y 250 ms posteriores a la presentación del estímulo y se relaciona con la capacidad de detectar cambios representativos en un contexto sensorial de forma automática (Näätänen *et al.*, 2012; Solís-Vivanco *et al.*, 2015). Puede observarse más claramente en regiones fronto-centrales generalmente derechas y se relaciona principalmente con el procesamiento automático, pre-atentivo del estímulo y el rastro de memoria sensorial previo a la ocurrencia de la disparidad (Correa-Jaraba, Cid-Fernandez, Lindin y Diaz, 2016).

Se sabe que la MMN puede evocarse por muchos tipos de cambio en el estímulo, tales como frecuencia (Hz), intensidad, duración, centro de origen, timbre, cambios fonéticos, violaciones gramaticales y cambios infrecuentes en estimulación somatosensorial (Luck y Kappenman, 2012). La evidencia obtenida a partir de técnicas de mapeo cerebral y densidad de corriente indican que la generación tanto del componente N1 como de la MMN proviene de redes neurales ubicadas en el plano temporal de la corteza auditiva (Alho, 1995; Horváth, Maess, Berti y Schröger, 2008b), y con contribuciones prefrontales (Escera y Corral, 2007).

4.2 P3a

La MMN puede ser seguida temporalmente por el componente P3a, una onda positiva que es evocada, al igual que la MMN, ante estímulos infrecuentes o novedosos (Escera, Alho, Winkler y Näätänen, 1998). La P3a fue reportada inicialmente por Sutton *et al.* (1965) y puede observarse alrededor de los 300 ms posteriores a la presentación del estímulo y con una localización predominantemente fronto-central. Su aparición se ha atribuido a una variedad de procesos cognitivos que demandan una actualización del *set* destinado a una tarea. El procesamiento de un estímulo es sometido a comparación en la memoria sensorial y si difiere significativamente respecto al contexto de estimulación y aparenta relevancia, los recursos atencionales tendrán que dirigirse hacia este (Luck y Kappenman, 2012). Su aparición corresponde a la segunda fase del modelo de atención involuntaria relacionada con la orientación atencional al estímulo novedoso, expresando el reflejo de orientación, la detección de la novedad y la distracción propiamente dicha (Escera, 1997).

Se ha señalado que la P3a podría estar generada a partir de una compleja red que se manifiesta en una orquestación espacio-temporal, iniciando con la activación de la corteza cingulada anterior, para reclutar posteriormente y bilateralmente a las cortezas temporo-parietales, la corteza fronto-temporal derecha y la corteza hipocampal (Correa-Jaraba *et al.*, 2016), pero manteniendo significativamente prominente su visualización en regiones fronto-centrales.

Se sabe que de forma similar a lo que ocurre con la MMN, la P3a puede evocarse en una tarea auditiva, aun cuando la atención no está dirigida a los estímulos auditivos, señalando su generación automática. Sin embargo, a diferencia de la MMN, algunos estudios sugieren un mecanismo de control *top-down* involucrado, evidenciado en la amplitud de la P3a puede estar modulada por la dificultad de la tarea primaria o por señales que predicen la ocurrencia del estímulo distractor,

resultando en una amplitud menor bajo estas condiciones; es decir, el sistema puede bloquear voluntariamente los efectos distractores si la tarea primaria es más compleja o más demandante (Parmentier y Maybery, 2008; Sussman *et al.*, 2003) y, por tanto, repercutir en la latencia y la amplitud de este componente.

5. REORIENTACIÓN ATENCIONAL Y RON

El proceso de reorientación representa la tercera fase del modelo de atención involuntaria, consiste en el regreso de los recursos atencionales a la tarea original una vez que ha ocurrido una distracción y se ha determinado que dicha distracción es irrelevante para el cumplimiento de la meta (Berti, 2008, 2013; Berti y Schröger, 2006; Correa-Jaraba *et al.*, 2016; Escera y Corral, 2003; Escera y Corral, 2007; Escera *et al.*, 2000b; Holig y Berti, 2010; Munka y Berti, 2006; Schröger y Wolff, 1998a; Wetzel y Schröger, 2014).

Bajo el paradigma *oddball*, tras observarse la aparición de la P3a, se ha reportado la aparición de un componente de polaridad negativa predominantemente frontal alrededor de los 400 a 600 ms posteriores a la presentación del estímulo infrecuente. Esta Negatividad de reorientación (*Reorientation Negativity*, RON), fue reportada por primera vez por Schröger y Wolff (1998a) y fue llamada así dado que se visualizó bajo la condición en la cual se solicita a los participantes responder únicamente discriminando la duración del estímulo, sin importar la frecuencia de éste. Es decir, cuando la característica distractora (como las variaciones en el tono) no es relevante para el cumplimiento de la tarea, se direcciona al sujeto a ignorar el cambio en la frecuencia y volver a enfocarse en la meta.

En contraste, la RON no fue evocada cuando se pidió a los sujetos responder tanto a la duración como al cambio de frecuencia (dando relevancia al cambio en la frecuencia también) o cuando se les pedía ignorar la estimulación acústica en general y enfocarse en otra tarea (leer un libro), situaciones donde teóricamente no debía existir un proceso re-orientativo. Este hallazgo derivó en la idea de que la aparición de esta negatividad estaba vinculada a un mecanismo controlado de reorientación atencional (Wetzel y Schröger, 2014). En la Figura 2 podemos apreciar un resumen esquemático de la ocurrencia de cada uno de los componentes electrofisiológicos del potencial de distracción, en correspondencia a cada estadio del modelo de atención involuntaria.

Adicionalmente, en niños se ha descrito un componente similar denominado Negatividad discriminativa tardía (*Late Discriminative Negativity*, LDN), el cual presenta una latencia parecida a la RON, en promedio 450 ms, aunque ésta sólo aparece bajo paradigmas *oddball* pasivos. Aun así, se ha referido como homóloga de la RON (Wetzel, Widmann, Berti y Schroger, 2006), aunque su amplitud, latencia y distribución en el cuero cabelludo cambia dramáticamente, posiblemente debido a que la velocidad de los procesos que subyacen a estos componentes incrementa con la edad y no están maduros aún en la adolescencia temprana (Wetzel y Schröger, 2014).

A pesar de que algunas investigaciones se han enfocado en confirmar el papel atencional de la RON, los resultados no han sido contundentes. Berti (2008) generó diferentes condiciones para observar el comportamiento de la RON. En su experimento se presentaba a los sujetos una secuencia de estímulos de 600 Hz que variaban en duración (200 y 400 ms), así como estímulos de las mismas duraciones, pero que además variaban en frecuencia (660 Hz) y aparecían con menor probabilidad dentro de la secuencia.

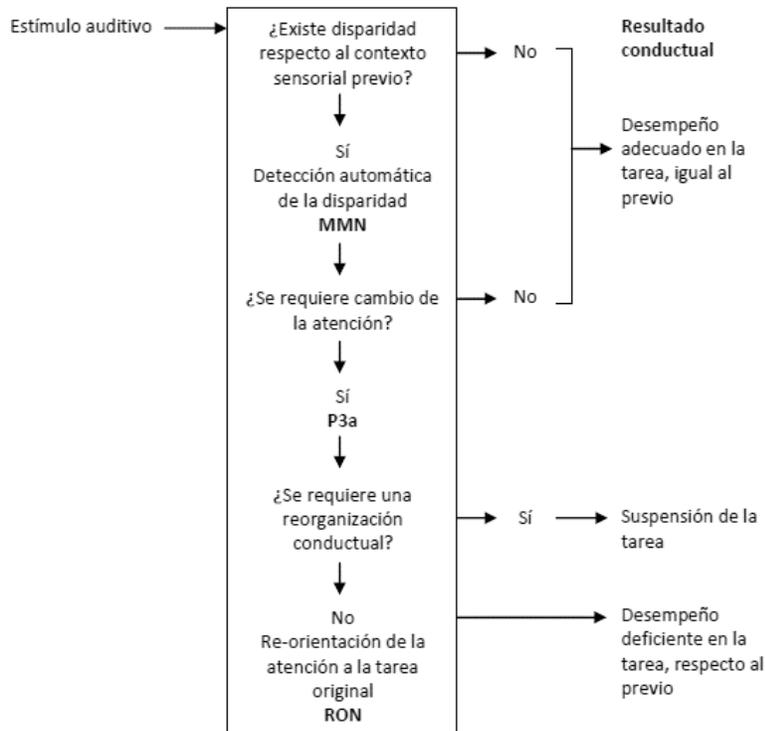


Figura 2. Modelo de atención involuntaria y sus correlatos electrofisiológicos. El proceso de atención inicia con la detección de la disparidad vinculada a la MMN, seguido del cambio atencional vinculada a la aparición de la P3a y el retorno atencional a la tarea original vinculada a la RON, cuando la tarea no demanda un cambio de objetivo (Solís-Vivanco, Ricardo-Garcell y Rodríguez-Agudelo, 2009).

En una de sus condiciones (refocalización), se pedía a los sujetos responder únicamente a la duración de todos los estímulos, ignorando su frecuencia. Dado que el cambio de frecuencia produciría distracción involuntariamente, y que ésta al ser irrelevante para la tarea asignada, el sujeto debería ignorar el cambio y reenfocar la atención a la duración. En otra condición (reorientación), se pedía a los sujetos responder a la duración de igual manera, con la excepción de que cada vez que se presentaba el estímulo variable en frecuencia, se les pedía no emitir ninguna respuesta y esperar a que ocurriera el siguiente estímulo para responder, volviendo al estímulo distractor relevante. Bajo estas manipulaciones, Berti encontró que la RON aparecía frontalmente

y más temprano (400-600 ms) en la condición de refocalización, y tardía (600-740 ms) y más distribuida sobre derivaciones parietales en la condición de reorientación.

Así, se concluyó que después de la ocurrencia de una distracción, dos tipos de procesos de orientación atencional debían ocurrir: 1) una refocalización de la atención específica para la información relevante en el ensayo actual evocando una RON frontal temprana, y 2) una reorientación general de la atención para los siguientes ensayos, tratando de abolir distracciones futuras en ellos.

Sin embargo, de acuerdo con lo concebido por Schröger y Wolff (1998a), en la condición de reorientación de Berti el estímulo distractor es relevante dentro de la tarea, pues demanda la inhibición de la respuesta, por lo que no se requiere una reorientación de la atención hacia la tarea principal (discriminar la duración). Por lo tanto, la RON definitivamente no debería aparecer bajo estas condiciones (Correa-Jaraba *et al.*, 2016; Escera y Corral, 2003; Escera y Corral, 2007; Escera *et al.*, 2000a; Horváth *et al.*, 2008a; Munka y Berti, 2006; Schröger y Wolff, 1998a; Wetzel y Schröger, 2014; Wetzel *et al.*, 2006).

Algo muy parecido se observó en condiciones utilizadas por Holig y Berti (2010), en las que la relevancia de los estímulos y sus características reflejarían requerimientos atencionales en cuanto a la generación de la reorientación, similares a las anteriormente señaladas. En éstas, la RON apareció en una condición en la cual el estímulo distractor resultaba también relevante dentro de la tarea. De nuevo, no se requería una reorientación. Dichos autores concluyeron que la RON podría reflejar tanto la reorientación al *set* atencional relevante ya establecido (discriminar la duración), como a uno nuevo (cambio en frecuencia), pero en cualquier forma, la RON estaría reflejando un proceso atencional tardío de control no especificado. Estos resultados contradicen el

origen que dio lugar al papel funcional de la RON en el potencial de distracción, aun cuando en las conclusiones de los autores no se pone en tela de juicio el mismo.

Justo-Guillén (2014) reportó resultados que también contradicen la hipótesis inicial funcional sobre la RON, en un estudio en el que se manipuló la relevancia de los estímulos distractores; la autora observó la presencia de RON en condiciones donde estos eran relevantes para la tarea.

Adicionalmente, Horváth *et al.* (2008b) plantearon la posibilidad de que la RON no reflejara la reorientación en sí, sino sólo algún proceso relacionado a ésta, vinculando su aparición a la ejecución de una respuesta motora. En éste estudio se registró mediante la técnica de magnetoencefalografía (MEG), activación en corteza motora primaria contralateral a la mano con la cual los participantes debían emitir la respuesta en el rango de tiempo de RON.

Otros estudios han seguido el planteamiento funcional original de la RON y, sobre el mismo constructo teórico establecido desde 1998, han reportado una RON alterada en diferentes enfermedades. Jahshan *et al.* (2012) reportaron una disminución significativa de la amplitud de la RON en pacientes con esquizofrenia diagnosticada, en contraste con sujetos en riesgo y controles, mediante una variación del paradigma *oddball*.

De forma similar, Solís-Vivanco *et al.* (2011) reportó una amplitud disminuida de la RON en pacientes con enfermedad de Parkinson no medicados respecto a pacientes medicados y un grupo control, ante un paradigma *oddball* auditivo. Polo *et al.* (2003) mediante un paradigma *oddball* audio-visual, reportaron una ligera positividad posterior a la aparición de la P3a en lugar de la RON, en pacientes alcohólicos crónicos respecto a controles. Así también Beste, Saft, Gunturkun y Falkenstein (2008) reportaron un incremento en la amplitud de la RON en pacientes

con enfermedad de Huntington bajo un paradigma *oddball* enteramente auditivo. Todos estos hallazgos podrían ser interpretados con mayor precisión teniendo un conocimiento más certero acerca del rol de la RON en el proceso atencional.

II. JUSTIFICACIÓN

La comprensión de los procesos cognitivos en términos funcionales, neuroanatómicos, químicos y electrofisiológicos, ha avanzado a lo largo de los años y es uno de los campos de mayor relevancia como parte de las neurociencias cognoscitivas. En términos de la atención involuntaria, específicamente en el modelo revisado aquí, se han investigado los PRE asociados con dicho proceso bajo diferentes manipulaciones experimentales y en relación con diferentes patologías. Mientras que la investigación ha sido amplia respecto a los componentes MMN y P3a, no hay mucha investigación en torno a la RON. Desde su planteamiento original (Schröger y Wolff, 1998a), este PRE se ha revisado en pocas condiciones experimentales que den luz sobre el papel funcional de RON en el proceso atencional. Adicionalmente, existen resultados que contradicen el planteamiento original e incluso se propone la participación de otros procesos involucrados en su aparición, tales como la preparación y ejecución de una respuesta motora.

Dado lo anterior, es pertinente el desarrollo de investigación que permita su revaloración como una genuina manifestación electrofisiológica de la reorientación atencional. Al momento no es de nuestro conocimiento la existencia de un estudio en el cual se explore paralelamente el efecto de la relevancia de los estímulos distractores y la ejecución de una respuesta motora sobre este componente.

El presente estudio aportará información que permita aclarar las condiciones bajo las cuales se presenta el componente RON. Específicamente, se busca esclarecer si su aparición está relacionada mayormente con la relevancia de los estímulos distractores (y por tanto con una reorientación), a la presencia de una respuesta motora, o bien, a una posible interacción entre ambos factores. Los resultados aportarán información para la delimitación de sus implicaciones a nivel funcional/atencional, contribuyendo con una interpretación más real de la misma en estudios

electrofisiológicos futuros, tanto en poblaciones sanas como para su uso en la valoración de la atención en padecimientos neurológicos y psiquiátricos.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hasta el momento, las investigaciones recientes en torno a los mecanismos electrofisiológicos de la reorientación atencional han señalado al componente RON como correlato de este proceso. La modificación de la relevancia de los estímulos distractores efectuada en dichas investigaciones (Berti, 2008; Holig y Berti, 2010) parece tener en principio efectos únicamente en términos de latencia y de distribución topográfica, presentándose alrededor de los 500ms en regiones frontales bajo una condición donde el estímulo distractor era irrelevante dentro de la meta, y tardía alrededor de los 700 ms en regiones parietales en una condición donde el distractor es relevante. Sin embargo, siendo consistentes con la propuesta inicial, la RON no debería ser visualizada cuando dichos estímulos resultan relevantes para la tarea, ni tardía, ni en regiones parietales.

A pesar de la evidencia que indica que la RON aparece en condiciones en las que no se requiere una reorientación de la atención, la conceptualización teórica inicial de este PRE no ha sido puesta en duda. En tanto, diversos autores se basan en el potencial de distracción para explorar deterioros atencionales en patologías neurológicas y psiquiátricas, manteniendo la explicación de la RON como un componente que refleja la reorientación atencional, sin existir una conclusión clara al respecto. Por otra parte, se ha especulado su posible vinculación con la respuesta motora, observando fuentes generadoras de la RON en regiones que corresponden a la corteza motora primaria (Horváth *et al.*, 2008b), lo que podría señalar a la RON como posible correlato de la

respuesta motora. Al momento, no existen estudios reportados que evalúen la aparición de la RON ante la manipulación paralela de la relevancia del estímulo distractor y la respuesta motora dentro de la tarea.

IV. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Es la RON un correlato electrofisiológico de la reorientación atencional?
- ¿Existen diferencias estadísticamente significativas de la amplitud y/o latencia de la RON dependientes de la relevancia en la tarea del estímulo distractor?
- ¿Existen diferencias estadísticamente significativas de la amplitud y/o latencia de la RON dependientes de la respuesta motora?
- ¿La modulación la amplitud y/o latencia de la RON se debe a una interacción de la relevancia o irrelevancia de los estímulos distractores en la tarea y el involucramiento o no de una respuesta motora?

V. HIPÓTESIS

- No habrá diferencias estadísticamente significativas en la amplitud y la latencia del componente RON entre condiciones con estímulos distractores relevantes e irrelevantes.
- Habrá diferencias estadísticamente significativas en la amplitud y la latencia del componente RON entre condiciones que requieran una respuesta motora a estímulos distractores y aquellas que no la requieran.
- No habrá interacciones entre la relevancia del estímulo distractor y la ejecución de la respuesta motora en el componente RON en una tarea de atención involuntaria.

VI. OBJETIVO GENERAL

Describir y explicar los efectos de la manipulación de la relevancia de los estímulos distractores y la ejecución de una respuesta motora sobre el componente electrofisiológico RON, en un paradigma de atención involuntaria.

1. Objetivos específicos

- Analizar y comparar los efectos sobre la amplitud y la latencia del componente electrofisiológico RON bajo una condición con estímulos distractores relevantes respecto a una condición con estímulos distractores irrelevantes en un paradigma de atención involuntaria.
- Analizar y comparar los efectos sobre la amplitud y la latencia del componente RON bajo una condición en la que se debe emitir una respuesta motora ante el estímulo distractor respecto a una condición en la cual la respuesta debe ser omitida, en un paradigma de atención involuntaria.
- Analizar la interacción entre la relevancia de los estímulos distractores y la respuesta motora sobre la amplitud y la latencia del componente RON en un paradigma de atención involuntaria.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Participantes

La muestra estuvo conformada inicialmente por 17 participantes (8 hombres y 9 mujeres), de los cuales posterior a la aplicación de los criterios de eliminación (ver tabla 1) sólo 14 (7 hombres y 7 mujeres) fueron considerados para el análisis final.

2. Procedimiento

Previo al experimento, se procedió a la entrega de una carta de consentimiento informado, la cual incluía toda la información sobre los procedimientos que serían aplicados al participante. Una vez firmado el consentimiento, se aplicó un cuestionario breve para conocer si el participante cumplía con los criterios de inclusión y exclusión (Tabla 1), además de solicitarle algunos datos sociodemográficos.

Este cuestionario incluía la edad, escolaridad, lateralidad, dirección, consumo de medicamentos y sustancias adictivas por parte de los participantes, por mencionar algunos (ver anexo 1). Estos datos se obtuvieron únicamente ante el discurso del participante al momento de preguntarle durante el cuestionario previo, no se utilizó otro instrumento de medición. Todos los procedimientos del estudio cumplieron con los principios de la W.M.A (2009), para la utilización de humanos en la investigación médica.

Tabla 1. Criterios de inclusión, exclusión y eliminación de la muestra.

<i>Criterios de Inclusión</i>	<i>Criterios de Exclusión</i>	<i>Criterios de Eliminación</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tener entre 20 y 25 años. ▪ Tener escolaridad mínima de licenciatura. ▪ En el caso de las mujeres, encontrarse dentro de los primeros tres días del ciclo menstrual al momento del registro del EEG, para reducir el efecto hormonal del ciclo menstrual sobre la señal (Bazanov, Nikolenko y Barry, 2017; Solís-Ortiz, Ramos, Arce, Guevara y Corsi-Cabrera, 1994). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diagnóstico actual o previo de padecimientos neurológicos o psiquiátricos. ▪ Abuso o adicción a sustancias. ▪ Estar bajo tratamiento psicológico o psicofarmacológico al momento de realizar el estudio (incluyendo tratamientos hormonales). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tener menos del 50% de respuestas correctas ante los estímulos infrecuentes en alguna de las condiciones de la tarea experimental. ▪ Mostrar un EEG con señal demasiado ruidosa que impidiera la obtención de PRE.

3. Adquisición de la señal

Se realizó un registro digital de EEG mediante el uso del software Scan 4.5 (Neuroscan Inc.) utilizando un amplificador NuAmps (Neuroscan Inc.). La señal eléctrica fue captada con una gorra elástica (Electro Cap Inc.) de 19 electrodos, ubicados de acuerdo al Sistema Internacional 10-20 (Jasper, 1958). Se registraron los movimientos oculares mediante dos electrodos ubicados en la parte superior de la ceja (vertical) y otro en el canto del ojo derecho (horizontal), respectivamente. La frecuencia de muestreo fue de 500 Hz, con un ancho de banda de 0.1 a 200 Hz, y mediante un montaje monopolar referenciado al promedio de los lóbulos de las orejas. No se utilizaron filtros durante la adquisición. Durante todo el registro se mantuvieron las impedancias por debajo de 5k Ω .

4. Tarea Experimental

Se utilizó el paradigma *oddball* auditivo similar al propuesto por Schröger y Wolff (1998a) modificando las características de los estímulos y las instrucciones que se daban a los participantes acorde a los objetivos fijados en la presente investigación.

Cada participante fue sometido a cuatro condiciones durante la prueba: irrelevante con respuesta, irrelevante sin respuesta, relevante con respuesta e irrelevante sin respuesta. Éstas se presentaron de manera aleatoria entre participantes para eliminar el efecto del orden. Cada condición tuvo una duración de 27 minutos, y se incluyeron 800 tonos en cada una. El tiempo total de la tarea fue de 148 minutos, incluyendo alrededor de cinco minutos de descanso entre condiciones (sólo si el participante indicaba que requería este periodo) y 20 minutos de instrumentación. En todas las condiciones se presentaron tonos puros frecuentes de 1000 Hz (90%) con duración de 200 (45%) o 400 ms (45%). La secuencia incluyó también tonos infrecuentes que variaban en frecuencia, siendo más agudos (1100 Hz, 5%) o más graves (900 Hz, 5%) y que podían ser igualmente de 200 o 400 ms. Todos los tonos se presentaron con una intensidad de 90 dB SPL mediante auriculares en ambos oídos y un intervalo inter-estímulo de 2 s. Cada una de las condiciones señaladas se describen a continuación:

a) Condición con distractor irrelevante y respuesta

Durante esta condición se indicó al participante que debía clasificar los tonos como cortos o largos. Para esto debía focalizar su atención en la duración del tono únicamente y presionar en una botonera de respuesta el botón 1 o 2, respectivamente, independientemente del tono del sonido (grave o agudo) respecto a los demás tonos.

b) Condición con distractor relevante y respuesta

Durante esta condición se indicó al participante que debía clasificar los tonos como cortos o largos, presionando el botón 1 para el sonido corto de 1000 Hz y 2 para el largo. Sin embargo, se le hizo notar la existencia de un tercer tipo de sonido que podía ser más agudo o grave (1100 Hz o 900 Hz) y que, ante éste, sin importar su duración, debía presionar el botón número 3 en la botonera.

c) Condición con distractor irrelevante sin respuesta

En esta condición se le indicó al participante que escucharía la secuencia de sonidos mientras realizaba una lectura, sobre la cual debía concentrarse pues finalizada la condición se le harían preguntas sobre su contenido. De igual manera se le pedía moverse lo mínimo posible (incluso para cambiar de página).

d) Condición con distractor relevante sin respuesta

Durante esta condición se indicó al participante que debía clasificar los tonos como cortos o largos, presionando el botón 1 para los sonidos cortos de 1000 Hz y 2 para los largos. Sin embargo, ante la aparición de los sonidos más agudos o graves debía cancelar toda respuesta y esperar al siguiente tono.

La tarea se fundamenta en la idea de que la alta probabilidad de aparición de los estímulos de 1000 Hz genera una estabilidad en el contexto de estimulación percibida que hace que la subsecuente aparición de los estímulos de menor probabilidad atraiga momentáneamente los recursos atencionales involuntariamente por identificación de la discrepancia.

El efecto de la atención involuntaria se ve reflejado en los tiempos de reacción incrementados y en un decremento en las tasas de aciertos ante los estímulos infrecuentes (Berti,

2013), por lo que se registraron ambas mediciones conductuales como evidencia de la ocurrencia de la distracción atencional.

Previo a iniciar el experimento, se indicó al participante que la tarea consistía en escuchar una serie de sonidos cortos y largos, en ese momento se le mostraban ambos a 1000 Hz las veces que fuesen necesarias hasta que él reportara sentirse capaz de discriminarlos, una vez iniciada la tarea se monitoreaba continua y discretamente que la mayoría de sus respuestas fuesen correctas, a través de la pantalla de la computadora. Se le pedía también que respondiera con la mano derecha únicamente, tan rápido como pudiera y que durante la tarea tratara de moverse lo menos posible, mantuviera su mirada en una cruz de fijación en la pantalla frente a él y su atención se enfocara en seguir las instrucciones para la tarea. En la Figura 3 se incluye una descripción gráfica resumida de la tarea.

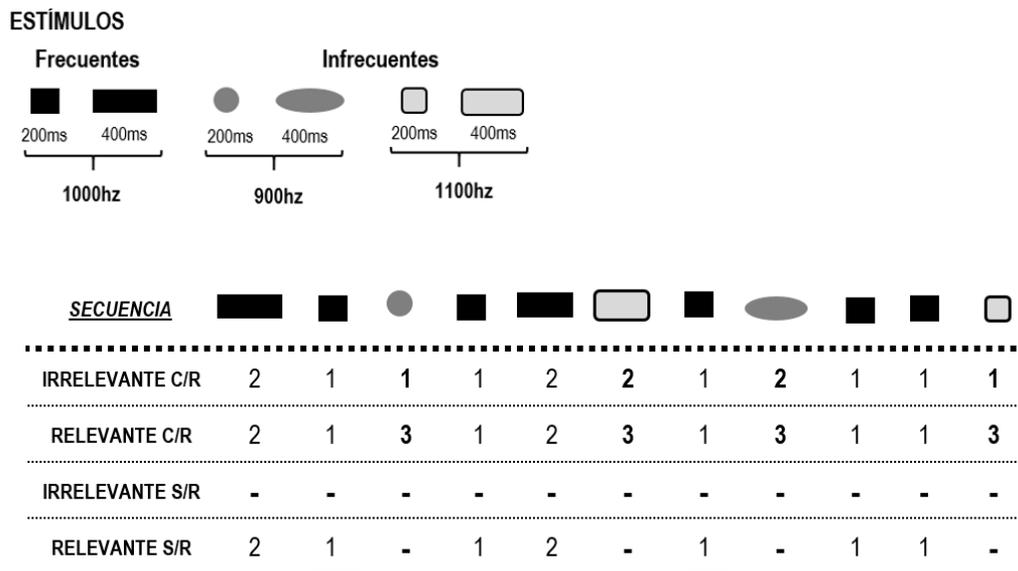


Figura 3. Resumen de las características del paradigma empleado y las respuestas (1, 2, 3,-) que se debían emitir de acuerdo con la condición y el tipo de estímulo presentado. C/R = Con respuesta; S/R = Sin respuesta.

5. ANÁLISIS DE LA SEÑAL

El análisis se efectuó fuera de línea, utilizando el software Curry 7 y Scan 4.5 (Neuroscan Inc.). Se obtuvieron alrededor de 80 épocas contemplando 100 ms previos y 800 ms posteriores a la presentación del estímulo para cada condición, por cada tipo de estímulo (frecuentes e infrecuentes). Sólo se incluyeron épocas que incluían respuestas correctas respecto a las instrucciones dadas.

Se aplicó un filtro de 0.5 a 30 Hz fuera de línea y se excluyeron del análisis aquellos segmentos del EEG que presentaban artefactos con un voltaje de $\pm 50 \mu\text{V}$ en cualquier electrodo, así como aquellos que se visualizaran ruidosos (señal claramente ocular, muscular, de movimiento o de amplitud tan alta para pertenecer a señal cerebral) bajo una inspección visual época por época. Los 100 ms previos a la presentación del estímulo se utilizaron para corrección de línea base. Cabe señalar que se realizó un promedio de la amplitud de las ventanas de tiempo de -100ms a 0ms con el objetivo de descartar una diferencia de amplitud entre condiciones desde la línea base, obteniendo en todos los sujetos y condiciones valores muy cercanos a cero. Lo anterior permitió asumir que los efectos observados entre condiciones correspondieron a la manipulación experimental y no a actividad de fondo distinta entre estas.

Para cada condición, se hicieron promedios con el mismo número de épocas, alrededor de 50 para los estímulos frecuentes y 50 para infrecuentes por separado y se restó el promedio de los frecuentes al promedio de los infrecuentes para cada participante. Además del análisis para la RON, el análisis se efectuó de manera idéntica para la MMN y P3a. De las ondas diferenciales obtenidos a partir de la resta, se identificaron picos de amplitud máxima en Fz, positiva (en el caso de la P3a) o negativa (en el caso de la MMN y la RON) en los rangos de tiempo de cada uno de los componentes (MMN: 100-250ms, P3a: 250-450ms, y RON: 450-650ms). A partir de la latencia

del pico máximo en Fz se calculó la amplitud media desde 20 ms previos hasta 20 ms posteriores a dicho valor para todos los electrodos (Horváth *et al.*, 2008a; Max, Widmann, Schröger y Sussman, 2015) la cual fue sometida a los análisis descritos a continuación. La latencia de cada PRE se obtuvo respecto al pico más amplio correspondiente al canal Fz.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todos los análisis estadísticos se efectuaron mediante el software IBM SPSS Statistics. Todas las variables de interés se analizaron descriptivamente mediante media y desviación estándar, a fin de observar la distribución de los datos en la muestra.

Se efectuó un análisis de varianza para medidas repetidas (ANOVA-MR) para comparar los tiempos de reacción (TR) con tipo de estímulo (Frecuente/Infrecuente) y condición como factores intra-sujeto. Para el porcentaje de error, se realizó el mismo análisis, para las mismas condiciones y adicionando el porcentaje de error para la condición Relevante sin respuesta. Con este análisis se verificó el efecto de distracción atribuido al paradigma oddball y reflejado en las mediciones conductuales y la probabilidad de interacción con las condiciones.

Para comparar las latencias de los tres PRE, se llevó a cabo un ANOVA-MR para cada uno, con relevancia (2 niveles: Relevante/Irrelevante) y respuesta (2 niveles: Con/Sin respuesta) como factores intra-sujeto, a fin de evaluar los efectos de las condiciones sobre la latencia del componente RON.

Se realizó también un ANOVA-MR para el análisis de los valores de amplitud media con relevancia, respuesta, distribución anteroposterior (2 niveles: Frontal/Central) y lateralidad (3 niveles: Izquierdo/Medio/Derecho) como factores intra-sujeto sobre las derivaciones F3, Fz, F4,

C3, Cz y C4. Estos canales se eligieron de acuerdo con la literatura científica, que indica que los componentes MMN, P3a y RON son más prominentes en regiones fronto-centrales (Horváth *et al.*, 2008b; Näätänen y Alho, 1997; Näätänen *et al.*, 2012; Polich, 2007; Wetzel y Schröger, 2014), lo que además es comprobable también en la observación de los mapas de distribución del PRE.

Para todas las ANOVA-MR se utilizó la prueba post-hoc de Bonferroni de intervalos de confianza para comparar los efectos principales, así como la corrección Greenhouse-Geisser para esfericidad.

Para todos los análisis se contempló un nivel de significancia de $p < 0.05$.

VIII. RESULTADOS

Los participantes presentaron una media de edad de 21.5 ± 1 años y una escolaridad de 15 ± 0.7 años. Ninguno de los participantes reportó estar recibiendo algún tipo de tratamiento farmacológico u hormonal el día del registro o en los días anteriores. Tampoco reportaron haber recibido algún tipo de intervención psicológica o tener diagnóstico de alguna enfermedad relevante que pudiera influir en los resultados. El consumo de alcohol en la muestra tuvo una media de 1.5 ± 2.10 copas mensuales. El consumo de tabaco en la muestra tuvo una media de 2 ± 4.9 cigarrillos al mes.

1. Resultados Conductuales

A fin de corroborar que los efectos distractores atribuidos al paradigma *oddball* ocurrieron en la presente investigación, se compararon por tipo de estímulo y por cada condición los tiempos de reacción y el porcentaje de error. La Tabla 2 muestra los resultados descriptivos de ambas mediciones conductuales.

Los resultados de las pruebas de ANOVA-MR efectuado para los TR, mostraron un efecto del factor estímulo ($F_{(1,13)} = 15.60, p = .002, \eta^2 = .54$), indicando que de manera general el estímulo infrecuente generó TR significativamente mayores respecto al estímulo frecuente. No se observaron efectos del factor condición ($F_{(1,13)} = .01, p = .90, \eta^2 = .00$; Figura 3a) o de la interacción entre factores ($F_{(1,13)} = 1.85, p = .19, \eta^2 = .12$), lo que indica que los TR son independientes de la relevancia o irrelevancia del estímulo distractor. Así, el estímulo distractor atrae momentaneamente los recursos atencionales independientemente de la condición, enlenteciendo la respuesta.

De manera similar, los resultados, para el porcentaje de error indicaron un efecto del factor estímulo ($F_{(1,13)} = 15.52, p = .002, \eta^2 = .54$, Figura 3b), indicando un desempeño con mayores errores para los estímulos infrecuentes en comparación con los frecuentes. No hubo efectos del factor condición ($F_{(2,26)} = .62, p = .54, \eta^2 = .04$) ni de la interacción entre factores ($F_{(2,26)} = .91, p = .41, \eta^2 = .06$). Lo anterior indica que el desvío atencional dificulta la tarea primaria incrementando la probabilidad de equivocarse en la selección de una respuesta.

Tabla 2. Muestra las medias, las desviaciones estándar (D.E.) y el error estándar de la media (E.E.M.) de las mediciones de los TR y el porcentaje de error, para cada condición.

Condición / Tipo de estímulo		Tiempos de reacción (ms)		Porcentaje de error	
		Frecuente Media (D.E., E.E.M)	Infrecuente Media (D.E., E.E.M)	Frecuente Media (D.E., E.E.M)	Infrecuente Media (D.E., E.E.M)
Irrelevante	con respuesta	813.03 (106.0, 28.3)	887.50 (124.6, 33.3)	13.20 (5.56, 1.4)	19.16 (8.32, 2.2)
	sin respuesta	832.55 (82.58, 22.0)	872.92 (95.75, 25.5)	14.13 (6.88, 1.8)	21.72 (14.02, 3.7)
Relevante	con respuesta	832.55 (82.58, 22.0)	872.92 (95.75, 25.5)	14.13 (6.88, 1.8)	21.72 (14.02, 3.7)
	sin respuesta			12.81 (6.72, 1.7)	24.27 (13.02, 3.4)

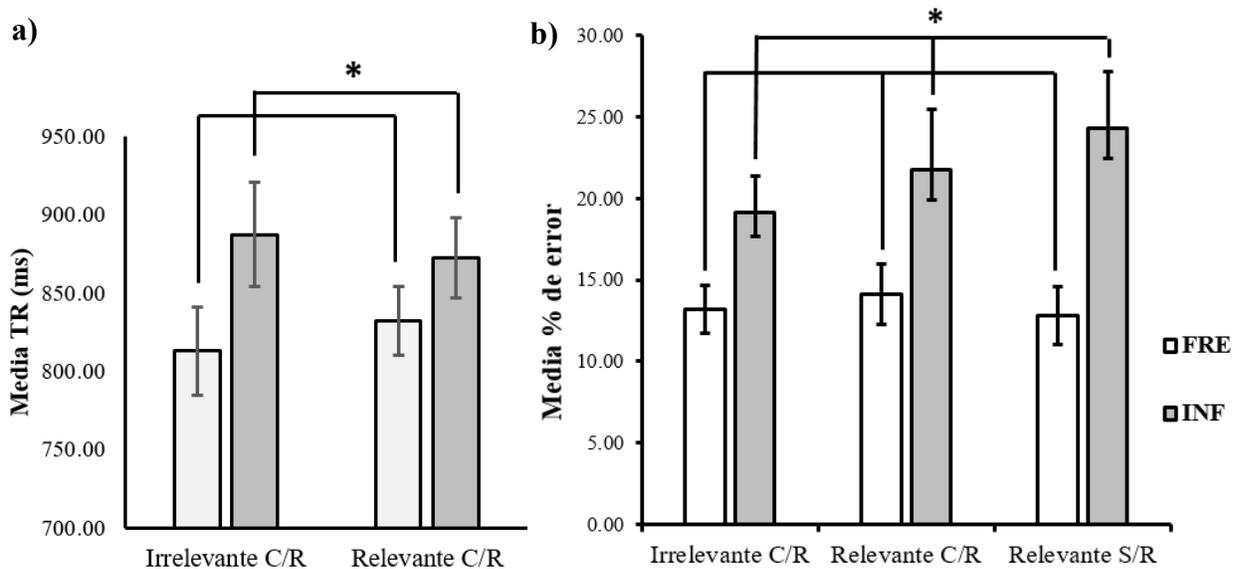


Figura 3. a) Medias de los TR por tipo de estímulo: frecuente (FRE) e infrecuente (INF), para cada condición (C/R = Con respuesta; S/R = Sin respuesta). **(b)** Media del porcentaje de error por tipo de estímulo y condición correspondiente incluyendo la condición Relevante S/R. (Barras de error: 1 E.E.M), * $p < 0.01$.

Como era esperado de acuerdo con la literatura, el cambio de tono y la menor probabilidad de aparición de los estímulos infrecuentes provocaron una demora en el tiempo de reacción y un incremento en el porcentaje de error en los participantes, respecto a los estímulos frecuentes, lo cual indica que existe un efecto distractor en el paradigma utilizado.

2. Resultados del análisis de los Potenciales Relacionados con Eventos (PRE)

2.1 Análisis de Latencias de los componentes

En la Tabla 3 se presentan los resultados descriptivos para las latencias de cada uno de los componentes del potencial de distracción, con la finalidad de ver su distribución por PRE a lo largo de las condiciones. A simple vista no se observan variaciones sustanciales entre condiciones.

Al comparar los efectos de la condición sobre las latencias de cada PRE, no se encontraron efectos principales para MMN en el factor relevancia ($F_{(1,13)}= 3.86, p= .71, \eta^2= .22$), respuesta ($F_{(1,13)}= .88, p= .36, \eta^2= .63$) ni en la interacción ($F_{(1,13)}= 4.55, p= .52, \eta^2= .26$). Lo cuál indica que ni la relevancia del distractor ni la respuesta motora generan cambios en la temporalidad de aparición de la MMN; es decir, la MMN aparece en tiempos similares después de la presentación del estímulo, independientemente de la condición.

Lo mismo sucedió con la RON: no hubo efectos de relevancia ($F_{(1,13)}= 2.40, p= .14, \eta^2= 0.15$), de la respuesta ($F_{(1,13)}= .32, p= .55, \eta^2= .028$) o de la interacción entre factores ($F_{(1,13)}= .82, p= .38, \eta^2= 0.05$) lo que indica que la RON aparece en tiempos similares independientemente de la relevancia del estímulo distractor.

Por el contrario, para la P3a hubo efectos tanto para el factor relevancia ($F_{(1,13)}= 5.16, p= .041, \eta^2= .28$), como para el factor respuesta ($F_{(1,13)}= 5.63, p= .034, \eta^2= .30$), pero no así para la interacción ($F_{(1,13)}= .12, p= .73, \eta^2= .009$). El análisis post-hoc evidenció una P3a más tardía cuando el estímulo distractor es relevante en la condición, respecto a cuando es irrelevante sin importar la respuesta (Diferencia media(DM)= 39.71, $p= .04$), como se observa en la Figura 4. El análisis también señaló una P3a más tardía cuando el distractor implicaba emitir una respuesta respecto a cuando no se requería, sin importar la relevancia ($DM = 24.57, p= .03$). Lo cual señala que la expectativa de un cambio en la estimulación y la instrucción de hacer algo diferente con él retrasa temporalmente la aparición del componente y por tanto la orientación de la atención a la novedad.

Tabla 3. Valores promedio de latencia, las desviaciones estándar (D.E) y el error estándar de la media (E.E.M) obtenidas para cada PRE estudiado, por condición.

Condición / PRE		Latencia (ms)		
		MMN	P3a	RON
		Media (D.E., E.E.M)	Media (D.E., E.E.M)	Media (D.E., E.E.M)
Irrelevante	con respuesta	160.86 (41.37, 11.0)	333.29 (44.69, 11.9)	534.29 (59.27, 15.8)
	sin respuesta	171.29 (33.81, 9.0)	304.29 (54.74, 14.6)	511.71 (55.05, 14.7)
Relevante	con respuesta	168.29 (45.39, 12.1)	368.57 (57.18, 15.2)	537.86 (46.77, 12.4)
	sin respuesta	135.71 (23.41, 6.2)	348.43 (53.06, 14.1)	541.14 (56.78, 15.1)

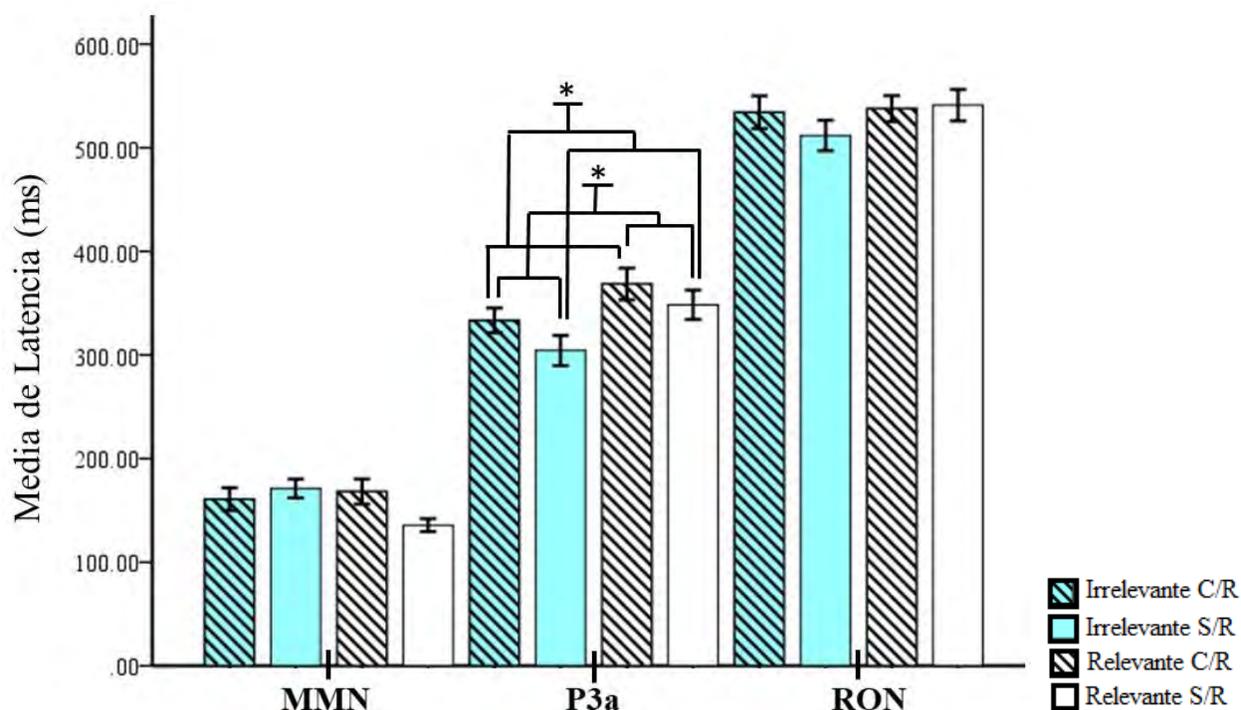


Figura 4. Muestra el comportamiento de los valores medios de latencia en Fz por cada PRE en cada una de las condiciones (Barras de error: 1 E.E.M). C/R = Con respuesta; S/R = Sin respuesta. * $p < 0.05$.

2.2 Análisis de la Amplitud de los componentes

A fin de evaluar los efectos de las condiciones en la amplitud de los componentes, se aplicó un ANOVA-MR. La Figura 5 muestra la distribución topográfica de los tres PRE. En consistencia con la literatura, se observó una distribución predominantemente fronto-central en todos ellos, independientemente de la condición.

La Tabla 4 contiene algunos datos descriptivos de la amplitud media en Fz de cada PRE analizado. A simple vista se observa que la amplitud entre medias para la MMN casi permanece invariable entre condiciones, mientras que para la P3a y la RON las amplitudes medias más bajas se observan en ambas condiciones donde el estímulo distractor era irrelevante y, particularmente sin respuesta para el caso de la RON (figura 6).

El ANOVA-MR para cada PRE no evidenció efectos para el factor relevancia ($F_{(1,13)} = 2.95$, $p = .10$, $\eta^2 = .18$), ni para el factor respuesta ($F_{(1,13)} = .26$, $p = .61$, $\eta^2 = .020$) en la MMN. Tampoco hubo efectos al evaluar el factor anteroposterior ($F_{(1,13)} = 3.37$, $p = .08$, $\eta^2 = .20$) pero si en el factor lateralidad ($F_{(2,26)} = 6.21$, $p = .006$, $\eta^2 = .32$), sin resultar significativa alguna interacción.

En el análisis post-hoc se observó un efecto en el factor lateralidad que señaló significativamente una mayor amplitud de la MMN en regiones de la línea media (Fz, Cz) respecto a izquierdas ($DM = -.376$, $p = .02$), sin ser significativamente diferente su amplitud al comparar las regiones mediales respecto a las derechas, ($DM = -.081$, $p = 1.0$), lo cual señala una distribución predominantemente fronto-central del componente, con una ligera carga hacia regiones derechas.

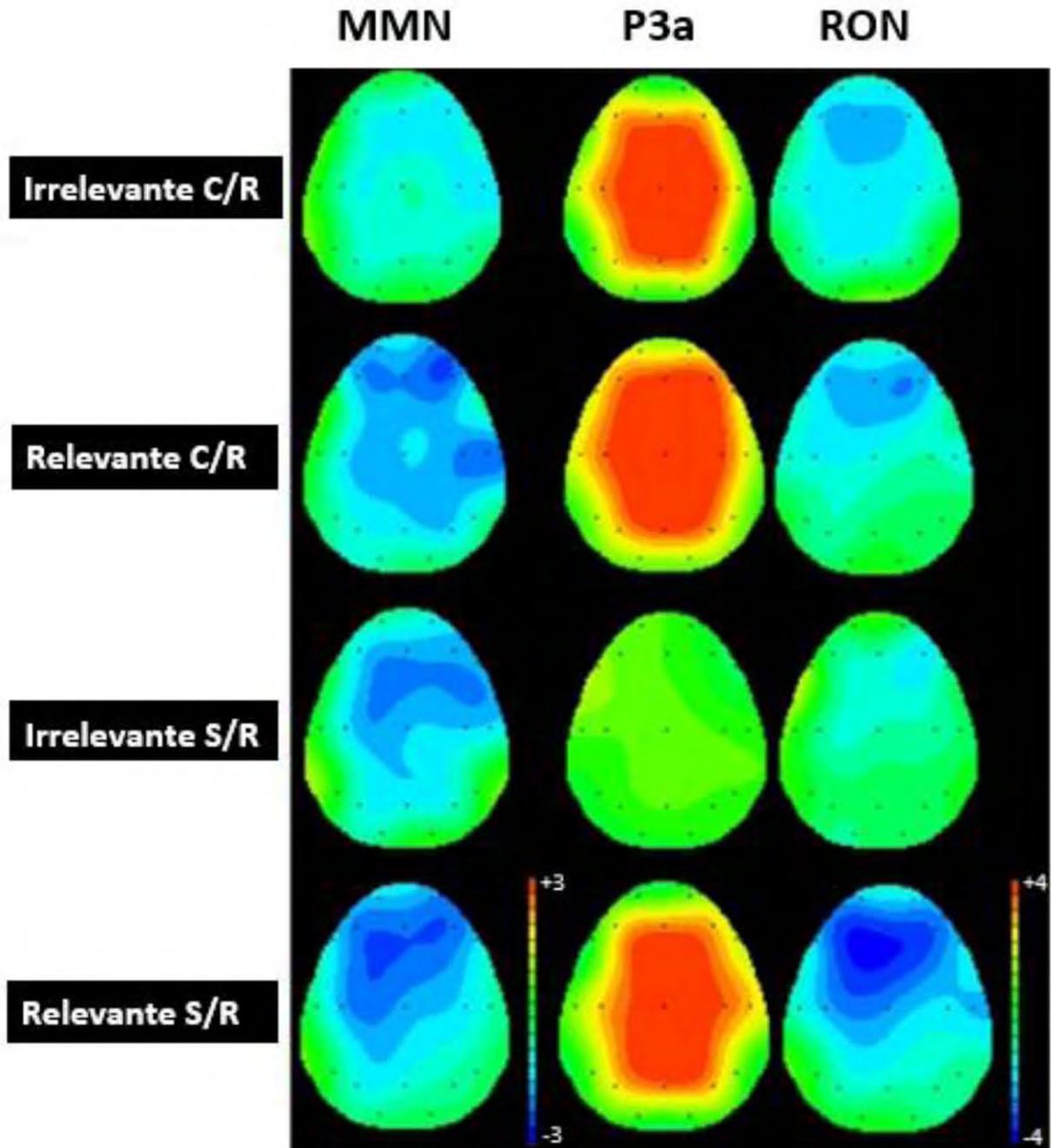


Figura 5. Se muestra la distribución topográfica de los tres componentes del potencial de distracción, basada en su amplitud (μV) por condición. C/R = Con respuesta; S/R = Sin respuesta

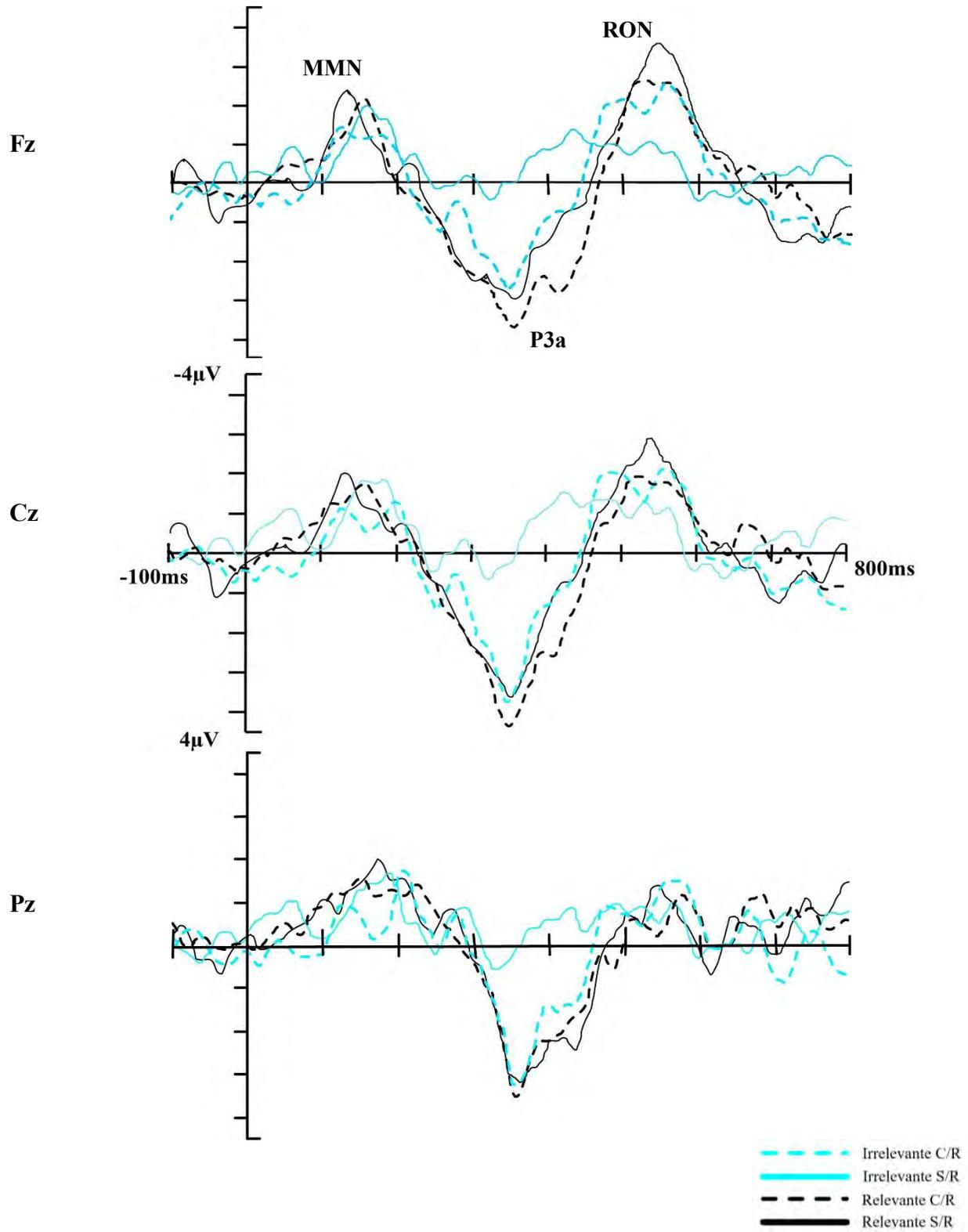


Figura 6. Se muestra el potencial trifásico diferencial obtenido en derivaciones centrales (Fz, Cz, Pz), para las cuatro condiciones. C/R = Con respuesta; S/R = Sin respuesta.

Diferente sucedió con la P3a, para la que hubo un efecto de relevancia ($F_{(1,13)} = 13.71, p = .003, \eta^2 = .51$) y lateralidad ($F_{(2,26)} = 8.21, p = .003, \eta^2 = .32$), pero no de respuesta ($F_{(1,13)} = 2.33, p = .15, \eta^2 = .15$). Tampoco se observó un efecto para el factor anteroposterior ($F_{(1,13)} = .66, p = .43, \eta^2 = .049$), lo que indica que la P3a se distribuye con una amplitud similar en regiones frontales y centrales. Tampoco se observó alguna interacción entre factores. El análisis post-hoc reveló un efecto de la relevancia precisando una mayor amplitud de la P3a en las condiciones con el distractor relevante respecto a cuando era irrelevante ($DM = 1.71, p = .003$; Figuras 6 y 7), sin importar la respuesta. El efecto principal de lateralidad indicó que la P3a es significativamente más amplia en regiones de la línea media al compararlas con regiones izquierdas ($DM = .833, p = .002$) y derechas ($DM = .824, p = .025$), señalando una distribución del potencial predominantemente fronto-central (Fz y Cz), de acuerdo con lo esperado y que no varea a través de las condiciones.

Tabla 4. Muestra las amplitudes medias, las desviaciones estándar y el error estándar de la media para cada PRE, por cada condición, en el canal Fz.

Condición / PRE		Amplitud (μV)		
		MMN Media (D.E., E.E.M)	P3a Media (D.E., E.E.M)	RON Media (D.E., E.E.M)
Irrelevante	<i>con respuesta</i>	-2.25 (2.03, .54)	3.22 (3.61, .96)	-4.01 (1.91, .51)
	<i>sin respuesta</i>	-2.19 (1.70, .45)	1.16 (2.18, .58)	-1.83 (1.45, .38)
Relevante	<i>con respuesta</i>	-2.95 (1.70, .45)	4.40 (2.84, .75)	-4.09 (2.48, .66)
	<i>sin respuesta</i>	-2.83 (2.03, .54)	4.21 (3.14, .84)	-7.16 (2.14, .43)

En el caso de RON, se observó un efecto del factor relevancia ($F_{(1,13)} = 7.17, p = .019, \eta^2 = .35$), de lateralidad ($F_{(2,26)} = 13.05, p = .000, \eta^2 = .50$) y del factor anteroposterior ($F_{(1,13)} = 27.84, p = .000, \eta^2 = .68$). No se observaron efectos para la respuesta ($F_{(1,13)} = 3.04, p = .10, \eta^2 = .19$), pero sí para la interacción relevancia por respuesta ($F_{(1,13)} = 6.33, p = .026, \eta^2 = .32$) y la relevancia por el factor anteroposterior ($F_{(1,13)} = 11.17, p = .005, \eta^2 = .46$).

El análisis post-hoc reveló una RON más amplia en las regiones frontales respecto a las centrales ($DM = -.719, p < .0001$) y con mayor amplitud también en regiones de la línea media respecto a regiones izquierdas ($DM = -.555, p = .002$) y derechas ($DM = -.383, p = .001$), lo que indica una expresión máxima del potencial en el canal Fz.

El análisis también señaló una amplitud significativamente mayor cuando el distractor era relevante, respecto a cuando era irrelevante ($DM = -.962, p = .019$), amplitud que era aun mayor en regiones frontales ($DM = -.1341, p = .005$) respecto a regiones centrales, indicando que en las condiciones relevantes la RON tiende a ser más amplia aun en frontales de lo que lo es en las condiciones con distractores irrelevantes. Así también, el análisis indicó mayor amplitud de RON específicamente cuando el distractor era relevante sin respuesta respecto a cuando era irrelevante sin respuesta ($DM = -1.973, p = .000$; Figuras 6 y 7) y cuando es irrelevante con respuesta respecto a la condición irrelevante sin respuesta ($DM = -1.464, p = .008$).

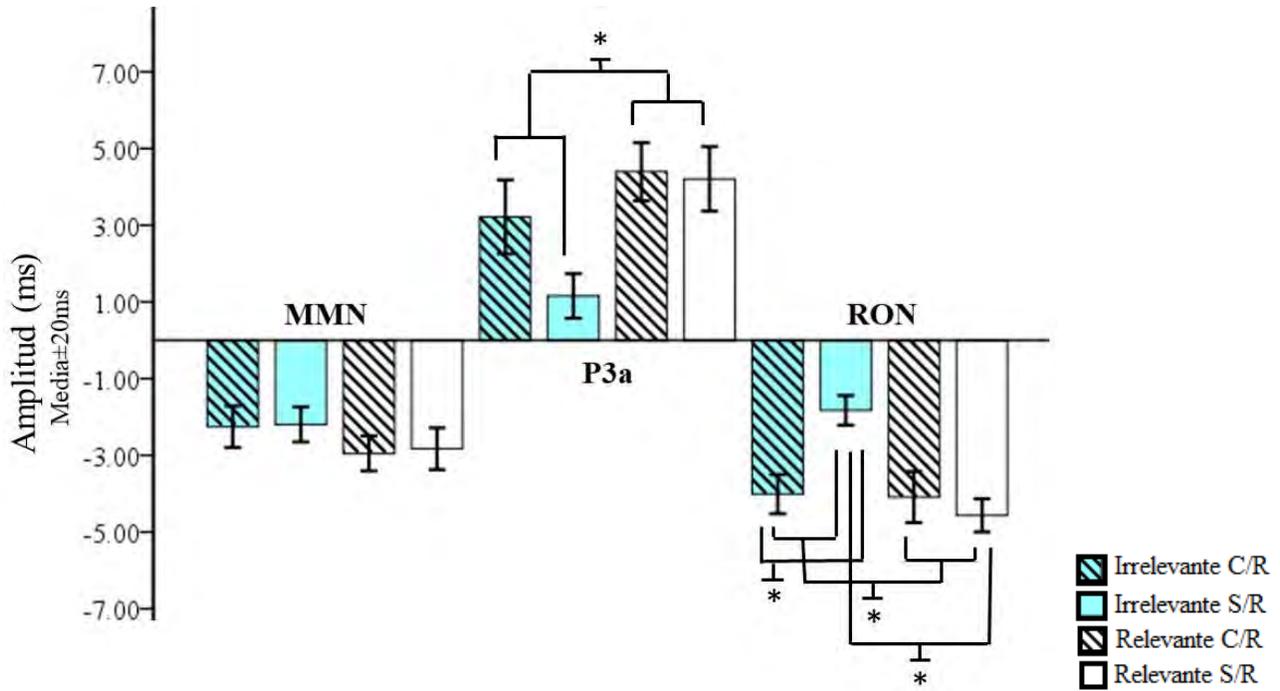


Figura 7. Medias de amplitud obtenidas por cada PRE en cada una de las condiciones (Barras de error: 1 E.E.M). C/R = Con respuesta; S/R = Sin respuesta, * $p < 0.05$.

IX. DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue observar los efectos de la manipulación de la relevancia del estímulo distractor y el requerimiento de la ejecución o no de una respuesta motora sobre los procesos atencionales evidenciados en el potencial de distracción, durante un paradigma tipo *oddball*, poniendo especial énfasis en los efectos sobre el componente electrofisiológico RON. A continuación, se discuten los hallazgos más relevantes de este trabajo.

1. Los efectos conductuales de la distracción son independientes de la relevancia del estímulo distractor y de la conducta motora

Los resultados conductuales obtenidos concuerdan de manera general con resultados previos asociados al paradigma *oddball* de atención involuntaria. Los TR de los participantes fueron significativamente mayores cuando aparecía un estímulo infrecuente respecto a los TR ante estímulos frecuentes (Alho *et al.*, 1997; Berti, 2008, 2013; Correa-Jaraba *et al.*, 2016; Escera y Corral, 2003; Escera *et al.*, 2002; Escera *et al.*, 1998; Escera *et al.*, 2001; Holig y Berti, 2010; Horváth, 2014; Horváth *et al.*, 2008a; Schröger *et al.*, 2000; Schröger y Wolff, 1998a, 1998b; Wetzel y Schröger, 2014). Algo similar ocurrió con los resultados en el porcentaje de error, siendo significativamente más elevados para el estímulo infrecuente respecto al frecuente.

Lo anterior ha sido explicado como un indicador conductual de que el estímulo distractor atrae momentáneamente los recursos atencionales y, dada la capacidad limitada del sistema para procesar información nueva (Cohen, 2014), provoca una demora de procesamiento que también queda evidenciada en un costo de respuesta.

Por otra parte, en este trabajo, ni los TR, ni el porcentaje de error exhibieron diferencias significativas entre las condiciones, lo cual sugiere que el efecto distractor de los estímulos infrecuentes es similar independientemente de la relevancia de estos dentro de la tarea a nivel conductual.

2. La MMN refleja el procesamiento automático del cambio en el contexto sensorial, independientemente de la relevancia del estímulo distractor y la respuesta motora.

No se observaron diferencias significativas para la MMN entre condiciones en términos de latencia. Esto concuerda con lo ya observado en investigaciones previas, indicando que esta aparece con una temporalidad similar independientemente de las manipulaciones atencionales sobre la relevancia del estímulo distractor dentro de la tarea, y tampoco se ve afectada por el requerimiento de una respuesta motora (Alho, 1995; Alho *et al.*, 1997; Berti, 2008, 2013; Correa-Jaraba *et al.*, 2016; Escera y Corral, 2003; Escera *et al.*, 2002; Escera *et al.*, 2000a; Escera *et al.*, 1998; Escera *et al.*, 2001; Holig y Berti, 2010; Horváth *et al.*, 2008a; Näätänen *et al.*, 2012; Schröger *et al.*, 2000; Thiel, Zilles y Fink, 2004; Winkler, Tervaniemi, Schroger, Wolff y Naatanen, 1998).

Estos hallazgos se sostienen también ante los datos de amplitud observados de este componente, los cuales indicaron que esta fue muy similar independientemente de las condiciones experimentales. Incluso se observó una MMN en la condición con distractor Irrelevante sin respuesta, cuando la atención se encontraba “enganchada” a la lectura. Lo anterior pone en evidencia que la información no atendida no es bloqueada por completo (Schröger *et al.*, 2000) y logra ser detectada, aun cuando el foco atencional está en otro canal sensorial. Estos datos apoyan el constructo teórico sobre la funcionalidad de la MMN como una respuesta automática de la detección del cambio (Schröger y Wolff, 1998a). Dicha detección es independiente de la dirección

de la atención y corresponde a una respuesta involuntaria y automática que responde a la ocurrencia de una disparidad en el contexto, como un tipo de control *bottom-up* (Horváth, 2014).

3. P3a como mecanismo involuntario del cambio atencional y el análisis del estímulo

En cuanto a la P3a, la relevancia del estímulo y la respuesta motora tuvieron efectos significativos sobre la latencia, evidenciando una P3a tardía de manera general en las condiciones donde el distractor era relevante respecto a las irrelevantes, particularmente cuando había una respuesta motora involucrada independientemente de la relevancia del distractor. Esto puede sugerir que el proceso de análisis semántico del estímulo que se ha vinculado a la P3a (Parmentier, 2008) es más demorado y complejo con el conocimiento de la ocurrencia de un estímulo desviado y el tener que realizar alguna acción motora ante este.

Bajo este contexto, los incrementos de amplitud en las condiciones relevantes respecto a las irrelevantes, podrían indicar que el procesamiento de una acción específica asociada a los estímulos distractores (p.ej. apretar un botón diferente o inhibir la respuesta), implica un procesamiento diferente a cuando no se tiene conocimiento de la ocurrencia de estos ni existe alguna respuesta específica asociada, es decir, ante la mera discriminación de la duración.

Entonces, en las condiciones relevantes se requiere un análisis diferente del estímulo distractor a fin de detectar los cambios en el tono y subsecuentemente iniciar la reorganización de la conducta y la modificación del foco atencional, distinto a como había venido siendo ante el estímulo frecuente y la detección de la duración. Esto muy probablemente implicaría el reclutamiento de un número mayor de unidades neuronales disparando que corresponderían al incremento de amplitud ante una tarea más demandante, generando a su vez un proceso más

demorado evidenciado en el incremento de la latencia y en los hallazgos del incremento de latencia específicamente en las condiciones con respuesta. En síntesis, el que el distractor sea relevante en la tarea por sí solo, sugiere una mayor activación neural observable en la amplitud de la P3a, lo anterior ha sido comprobado tiempo atrás, específicamente cuando los distractores contienen información importante evocan una P3a mayor que distractores no significativos en el contexto (Escera *et al.*, 2003; Escera *et al.*, 1998).

Con base en sus antecedentes, la P3a representa entonces un correlato del cambio involuntario y automático de la atención hacia un estímulo novedoso, considerada desde su descubrimiento como una manifestación clara del reflejo de orientación (Alho *et al.*, 1997; Berti, 2008; Correa-Jaraba *et al.*, 2016; Escera y Corral, 2007; Escera *et al.*, 2000b; Escera *et al.*, 1998; Holig y Berti, 2010; Polich, 2007; Schröger *et al.*, 2000), el análisis consciente de los estímulos y la determinación de la relevancia del mismo para dar paso al procesamiento subsecuente (p.ej. ejecutar una respuesta motora), pudiendo ser modulada por procesamientos de control tipo *top-down*.

4. La RON como mecanismo de activación atencional general, control ejecutivo y reflejo de la preparación motora.

En cuanto a la RON, no hubo ningún efecto de las condiciones sobre la medición de la latencia. Sin embargo, se observó una mayor amplitud de la RON en las condiciones relevantes respecto a las irrelevantes, indicando específicamente un decremento significativo de la amplitud en la condición Irrelevante sin respuesta, al compararla con la condición relevante sin respuesta.

A partir de investigaciones recientes supimos acerca de la probable existencia de dos fases de este componente: una que ocurre entre los 510 y 570 ms posteriores a la presentación del estímulo, y otra entre los 590 y 670 ms (Berti, 2008; Escera *et al.*, 2001; Holig y Berti, 2010). De acuerdo con estas investigaciones, cuando ha ocurrido el cambio en la atención, se procede con el análisis del estímulo, éste análisis ocurre a fin de modificar el foco atencional y adaptarlo a las demandas de la tarea al momento, ya sea la discriminación de la duración del estímulo o la variación en el tono Munka y Berti (2006). De acuerdo con estos autores, este proceso estaría reflejado en la primera fase de la RON. Mientras que la segunda fase sería resultado de una reorientación a la información relevante no de manera inmediata, sino para los ensayos siguientes.

Aun cuando en la presente investigación se usaron condiciones muy similares a las que sirvieron para asentar el descubrimiento de la doble fase de la RON, estas fases no se observaron aquí; el componente no demostró variaciones en latencia o en distribución topográfica a lo largo de las condiciones. Por tanto, no hay evidencia para apoyar dichos hallazgos, motivando una re-evaluación de las funciones atribuidas en este sentido. Exploraciones y réplicas futuras de las condiciones ya utilizadas (Berti, 2008; Berti y Schröger, 2006; Escera *et al.*, 2001; Holig y Berti, 2010), probablemente aclararían mejor estos datos.

Adicionalmente, los resultados aquí observados contradicen la concepción original sobre el papel funcional de la RON. Como ya se mencionó, Schröger y Wolff (1998a) describieron este componente como una manifestación de la reorientación atencional a la tarea que se estaba realizando antes de la ocurrencia de una distracción, una vez que se ha determinado que ésta es irrelevante.

En este estudio la RON se mostró disminuida en amplitud únicamente en la condición Irrelevante sin respuesta respecto a las demás condiciones, especialmente ante la condición

relevante sin respuesta. Este componente apareció independientemente de la relevancia del estímulo distractor dentro de la tarea, al observarse tanto en condiciones en las que el estímulo distractor era relevante como irrelevante.

Por otro lado, los resultados hallados en la presente que señalan una expresión frontal del componente y que incrementa significativamente en amplitud en las condiciones relevantes podría relacionarse con los aspectos ejecutivos involucrados en la toma de decisiones a fin de cumplir con la nueva instrucción que se debe implementar ante las condiciones relevantes.

El hecho de que la RON se viera reducida en amplitud mayormente en la condición Irrelevante sin respuesta, podría encajar con una explicación que señala modulaciones tipo *top-down* sobre el componente. Esta explicación se refiere a la existencia aparente de un umbral de novedad que puede o no desencadenar el cambio atencional (P3a) y procesos subsecuentes (p.ej. RON) (Horváth *et al.*, 2008a). Este umbral muy probablemente esté permeado por los aspectos motivacionales y por el control *top-down*, provocando una atenuación o bloqueo de los efectos distractores cuando el foco atencional se encuentra dirigido a una actividad atencionalmente demandante y/o colocado en otro canal sensorial (Escera y Corral, 2007; Sussman *et al.*, 2003; Wetzel y Schröger, 2014), como podría ser la lectura.

Cabe señalar el hecho de que aun cuando el estímulo distractor era irrelevante y no requería ninguna respuesta motora en la condición con distractor Irrelevante sin respuesta, en realidad la estimulación auditiva en general era irrelevante, ya que no había una respuesta vinculada al estímulo frecuente tampoco, y los recursos atencionales se encontraban mayormente dirigidos a la lectura. En contraste, en las otras tres condiciones la atención estaba dirigida a la escucha de la secuencia de sonidos y alternaba entre atender la duración de los sonidos y su frecuencia.

El hecho de que la RON sea evocada con menor amplitud en la condición Irrelevante sin respuesta respecto a las otras condiciones, y significativamente ante la Relevante sin respuesta, puede gestar dos hipótesis centrales. La primera es que, si esta aparece en todas las condiciones en las que la atención se encuentra dirigida hacia la tarea auditiva, la RON entonces representa un correlato de *activación general* de la atención, dirigida a la información *global* relevante en ese momento, independientemente de las características físicas de los estímulos (incluyendo duración y frecuencia). Es decir, tras la detección de un distractor y la orientación de recursos atencionales a este, la RON aparece cuando se debe regresar la atención a la tarea inicial (p.ej. detectar la duración), o dirigirla a la característica distractora (p.ej. detección del tono) a fin de responder a ésta ahora.

La segunda hipótesis que podría ser asequible es que a pesar de que no se observó un efecto de la respuesta motora en la latencia y amplitud de RON, la disminución de amplitud del componente en la única condición en la cual no se pide que se emita una respuesta a los estímulos auditivos en general (Irrelevante sin respuesta) en comparación con la condición Relevante sin respuesta (cuando los sujetos detectan el cambio de tono, pero ante este deben inhibir su respuesta), abre la pregunta de si la RON probablemente refleje actividad preparatoria cognitiva/ejecutiva para la ejecución de un movimiento (Lu y Ashe, 2005), aun cuando dicha actividad sea *inhibir* dicho movimiento.

En apoyo a esta última hipótesis, sabemos que una de las fuentes generadoras de la RON ha sido encontrada en la corteza motora primaria (CMP) (Horváth *et al.*, 2008b). El rol de la CMP en el funcionamiento cerebral ha sido sintetizado en tres dominios: 1) Transformación de los planes motores voluntarios en movimientos por coordinación de los sistemas musculares, 2) Utilización de la retroalimentación sensorial de los receptores somáticos para el movimiento complejo, y 3)

Control ejecutivo de las acciones, incluyendo las no motoras (Kukleta, Damborska, Roman, Rektor y Brazdil, 2016; Potes, Brunner, Gunduz, Knight y Schalk, 2014; Scott, Cluff, Lowrey y Takei, 2015). Esto señala un involucramiento en actividades puramente cognitivas, pero encaminadas a una respuesta motora, como podría ser la planeación y control *top-down* del movimiento.

En relación a lo anterior, en un estudio reciente se registraron regiones de la CMP mediante una medición intra-craneal de EEG en pacientes con epilepsia no medicados durante cirugía, encontrando un PRE aparentemente desconocido, de polaridad negativa alrededor de los 600 ms, al emplear una variación del paradigma *oddball* visual, el cual no involucraba la ejecución de ninguna respuesta motora, sino cognitiva (conteo mental) (Kukleta *et al.*, 2016). En el mismo estudio, también se registró la actividad de regiones de la corteza prefrontal y del cíngulo, obteniendo alta sincronización y correlación (0.80) de la señal de estas áreas con la CMP. Lo anterior coincide con la hipótesis acerca del papel de modulación atencional general de la RON y posibles fuentes generadoras en regiones motoras, con probables contribuciones frontales.

Como dato adicional, otra investigación, mediante el análisis de coherencia en el EEG, señaló un incremento en la coherencia en la banda de alfa durante una tarea en la cual se hacía predecible el cambio del uso de la mano derecha a la izquierda, entre la corteza motora y la corteza parietal. La conclusión final de los autores ante estos hallazgos fue que la actividad de baja frecuencia observada en el EEG es característica de la planeación de un movimiento (Serrien, Pogosyan, Cassidy y Brown, 2004). Lo cual, sin involucrar directamente a la banda delta, coincide con el conocimiento de que la RON oscila a una frecuencia dentro de este rango de oscilaciones lentas.

A manera de resumen y de acuerdo con lo que se sabe hasta el momento del potencial de distracción, el orden de sucesos que siguen a la ocurrencia de una distracción, se muestra en la Figura 8., se incluyen los hallazgos e hipótesis formuladas al momento.

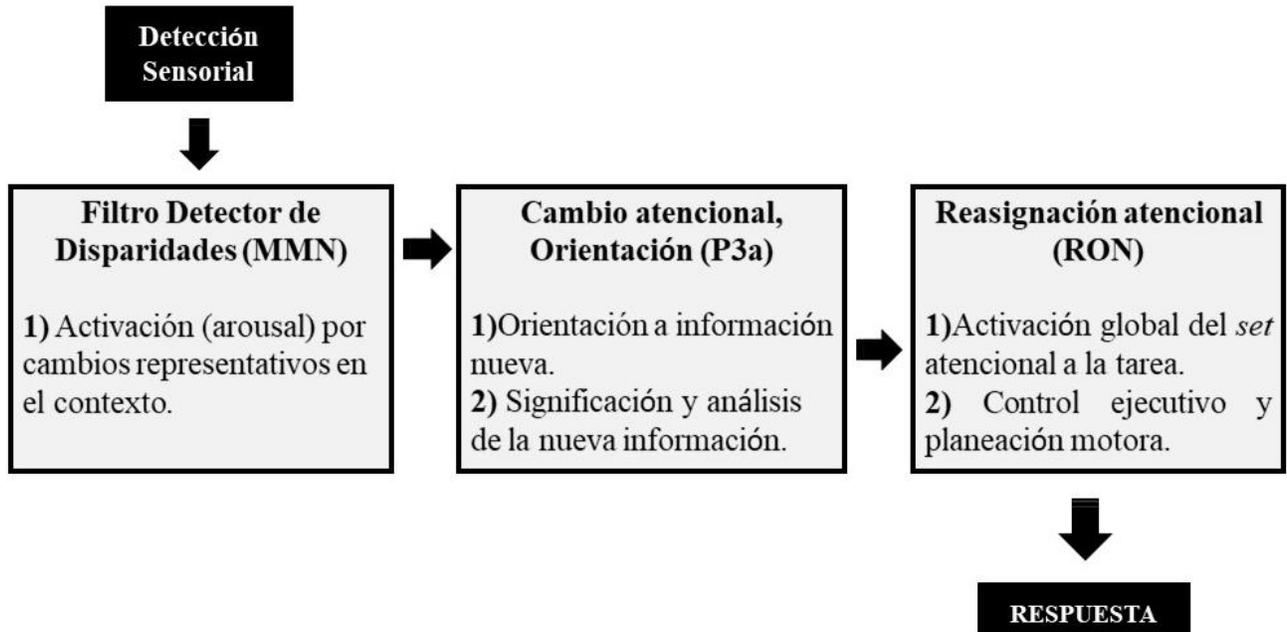


Figura 8. Muestra la serie tentativa de eventos que desencadena la ocurrencia de un estímulo distractor, de acuerdo con el correlato electrofisiológico propuesto en el presente trabajo.

5. Limitaciones

Una de las principales limitaciones de este estudio es el tamaño de la muestra. Sólo se incluyeron 14 sujetos y, aunque la mayoría de estudios sobre el potencial de distracción utilizan muestras pequeñas, muestras mayores otorgarían una mayor confiabilidad a estos hallazgos. Otra de las limitaciones relacionadas a la muestra es el rango de edad utilizado: tener mediciones de rangos de edad más amplios y definidos permitirían mayor robustez a nuestros hallazgos y permitirían describir cambios en la RON a lo largo de desarrollo.

Otra limitación es que nuestra manipulación, aunque nos permitió evaluar la relación de aparición de la RON y la conducta motora, no es suficiente para evaluar la relación con la *preparación* motora, entendiéndola como un control de tipo cognitivo/ejecutivo.

6. Perspectivas a futuro

En trabajos subsecuentes, primordialmente se sugiere idear un experimento que sea capaz de identificar si es que la RON corresponde a un correlato de un procesamiento de control ejecutivo que tiene que ver con la preparación de la respuesta motora. Podría jugarse con el cambio en el uso de mano predecible para responder en un paradigma oddball, hipotetizando que habrá diferencias de la distribución del potencial hacia la izquierda o derecha ante la predicción de un cambio de mano, que podría evaluarse como indicador de que el sujeto está llevando a cabo la planeación de un movimiento, tomando aspectos de la tarea utilizada por Serrien *et al.* (2004).

X. CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo fue describir y explicar los efectos de la manipulación de la relevancia de los estímulos distractores y la ejecución de una respuesta motora sobre la aparición del componente electrofisiológico RON. Las conclusiones principales son:

- El comportamiento experimental de la MMN sugiere que corresponde a un mecanismo involuntario de la detección de la disparidad en el contexto, y no se ve permeado por la relevancia del estímulo distractor o la respuesta motora.

- La P3a representa el cambio atencional (orientación), evocado de manera involuntaria, e incluye el análisis y posible clasificación de los estímulos que evocan una P3a de mayor amplitud. Por lo que puede modularse por un tipo de control *top-down*.
- Con base en los resultados, se proponen dos hipótesis acerca del rol funcional de la RON:
 - 1) el alojamiento de recursos atencionales globales a la información relevante en la tarea, independientemente de si el estímulo distractor es relevante o irrelevante dentro de la misma, y que muy probablemente involucra el control ejecutivo de la respuesta y 2) una posible implicación como correlato de actividad anticipatoria a la generación de un movimiento. Investigaciones futuras darán luz para aclarar ambas posibilidades.

XI. REFERENCIAS

- Alho, K. (1995). Cerebral generators of mismatch negativity (MMN) and its magnetic counterpart (MMNm) elicited by sound changes. *Ear Hear*, 16(1), 38-51.
- Alho, K., Escera, C., Diaz, R., Yago, E., y Serra, J. M. (1997). Effects of involuntary auditory attention on visual task performance and brain activity. *Neurorep*, 8(15), 3233-3237.
- Bazanava, O. M., Nikolenko, E. D., y Barry, R. J. (2017). Reactivity of alpha rhythms to eyes opening (the Berger effect) during menstrual cycle phases. *Int J Psychophysiol*, 122, 56-64. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2017.05.001
- Berti, S. (2008). Cognitive control after distraction: event-related brain potentials (ERPs) dissociate between different processes of attentional allocation. *Psychophysiol*, 45(4), 608-620. doi: 10.1111/j.1469-8986.2008.00660.x
- Berti, S. (2013). The role of auditory transient and deviance processing in distraction of task performance: a combined behavioral and event-related brain potential study. *Front Hum Neurosci*, 7, 352. doi: 10.3389/fnhum.2013.00352
- Berti, S., y Schröger, E. (2006). Visual distraction: a behavioral and event-related brain potential study in humans. *Neurorep*, 17(2), 151-155.
- Beste, C., Saft, C., Gunturkun, O., y Falkenstein, M. (2008). Increased cognitive functioning in symptomatic Huntington's disease as revealed by behavioral and event-related potential indices of auditory sensory memory and attention. *Journal of Neuroscience*, 28(45), 11695-11702. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2659-08.2008
- Broadbent, D. E. (1969). *Perception and communication*. Oxford etc.: Pergamon.
- Cohen, R. A. (2014). *The Neuropsychology of Attention* (2nd ed.). New York: Springer.
- Corbetta, M., Patel, G., y Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron*, 58(3), 306-324. doi: 10.1016/j.neuron.2008.04.017
- Correa-Jaraba, K. S., Cid-Fernandez, S., Lindin, M., y Diaz, F. (2016). Involuntary Capture and Voluntary Reorienting of Attention Decline in Middle-Aged and Old Participants. *Front Hum Neurosci*, 10, 129. doi: 10.3389/fnhum.2016.00129
- Escera, y Corral. (2003). The distraction potential (DP), an electrophysiological tracer of involuntary attention control and its disfunction. *Cogn Neurosci Indiv Dif*, 63-76.
- Escera, y Corral, M. (2007). Role of mismatch negativity and novelty-P3 in involuntary auditory attention. *J of Psychophysiol*, 21(3-4), 251-264.
- Escera, Corral, M. J., y Yago, E. (2002). An electrophysiological and behavioral investigation of involuntary attention towards auditory frequency, duration and intensity changes. *Brain Res Cogn Brain Res*, 14(3), 325-332.
- Escera, Yago, E., Corral, M. J., Corbera, S., y Nunez, M. I. (2003). Attention capture by auditory significant stimuli: semantic analysis follows attention switching. *Europ J Neurosci*, 18(8), 2408-2412.
- Escera, C. (1997). Mecanismos cerebrales de la reorientación atencional involuntaria: Potencial de disparidad (MMN), N1 y P3a. *Psicothema*, 9(3), 555-568.
- Escera, C., Alho, K., Schroger, E., y Winkler, I. (2000). Involuntary attention and distractibility as evaluated with event-related brain potentials. *Audiol Neurotol*, 5(3-4), 151-166. doi: 13877

- Escera, C., Alho, K., Winkler, I., y Näätänen, R. (1998). Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change. *J Cogn Neurosci*, 10(5), 590-604.
- Escera, C., Yago, E., y Alho, K. (2001). Electrical responses reveal the temporal dynamics of brain events during involuntary attention switching. *Europ J Neurosci*, 14(5), 877-883.
- Fan, J., y Posner, M. (2004). Human attentional networks. *Psychiatr Prax*, 31 Suppl 2, S210-214. doi: 10.1055/s-2004-828484
- Filley, C. M. (2002). The neuroanatomy of attention. *Semin Speech Lang*, 23(2), 89-98. doi: 10.1055/s-2002-24985
- Friedenberg, J. S., G. (2006). *Cognitive Science: an introduction to the study of mind* (S. Publications Ed.). United States of America.
- Gazzaniga, M. S. (2009). *The cognitive neurosciences* (4th ed.). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Holig, C., y Berti, S. (2010). To switch or not to switch: brain potential indices of attentional control after task-relevant and task-irrelevant changes of stimulus features. *Brain Res*, 1345, 164-175. doi: 10.1016/j.brainres.2010.05.047
- Horváth, J. (2014). Sensory ERP effects in auditory distraction: did we miss the main event? *Psychol Res*, 78(3), 339-348. doi: 10.1007/s00426-013-0507-7
- Horváth, J., Czigler, I., Birkas, E., Winkler, I., y Gervai, J. (2009). Age-related differences in distraction and reorientation in an auditory task. *Neurobiol Aging*, 30(7), 1157-1172. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2007.10.003
- Horváth, J., Maess, B., Berti, S., y Schröger, E. (2008b). Primary motor area contribution to attentional reorienting after distraction. *Cogn Neurosci Neuropsychol*, 19(4), 443-446.
- Horváth, J., Winkler, I., y Bendixen, A. (2008a). Do N1/MMN, P3a, and RON form a strongly coupled chain reflecting the three stages of auditory distraction? *Biol Psychol*, 79(2), 139-147. doi: 10.1016/j.biopsycho.2008.04.001
- Jahshan, C., Cadenhead, K. S., Rissling, A. J., Kirihara, K., Braff, D. L., y Light, G. A. (2012). Automatic sensory information processing abnormalities across the illness course of schizophrenia. *Psychol Med*, 42(1), 85-97. doi: 10.1017/S0033291711001061
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York,: H. Holt and company.
- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl*, 10, 371-375.
- Justo-Guillén, E. (2014). *Estudio de acoplamiento funcional cerebral asociado con la atención involuntaria*. (Licenciatura), UNAM, México, D.F.
- Kukleta, M., Damborska, A., Roman, R., Rektor, I., y Brazdil, M. (2016). The primary motor cortex is involved in the control of a non-motor cognitive action. *Clin Neurophysiol*, 127(2), 1547-1550. doi: 10.1016/j.clinph.2015.11.049
- Lu, X., y Ashe, J. (2005). Anticipatory activity in primary motor cortex codes memorized movement sequences. *Neuron*, 45(6), 967-973. doi: 10.1016/j.neuron.2005.01.036
- Lu, Z. L. (2008). Mechanisms of attention: Psychophysics, cognitive psychology, and cognitive neuroscience. *Jpn J Psychon Sci*, 27(1), 38-45.
- Luck, S. J., y Kappenman, E. S. (2012). *The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components* (O. Press Ed.). New York.
- Mackie, M. A., Van Dam, N. T., y Fan, J. (2013). Cognitive control and attentional functions. *Brain Cogn*, 82(3), 301-312. doi: 10.1016/j.bandc.2013.05.004

- Max, C., Widmann, A., Schröger, E., y Sussman, E. (2015). Effects of explicit knowledge and predictability on auditory distraction and target performance. *Int J Psychophysiol*, 98(2 Pt 1), 174-181. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2015.09.006
- Mesulam, M. M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Ann Neurol*, 10(4), 309-325. doi: 10.1002/ana.410100402
- Munka, L., y Berti, S. (2006). Examining task-dependencies of different attentional processes as reflected in the P3a and reorienting negativity components of the human event-related brain potential. *Neurosci Lett*, 396(3), 177-181. doi: 10.1016/j.neulet.2005.11.035
- Näätänen, R., y Alho, K. (1997). Mismatch negativity--the measure for central sound representation accuracy. *Audiol Neurootol*, 2(5), 341-353.
- Näätänen, R., Kujala, T., Escera, C., Baldeweg, T., Kreegipuu, K., Carlson, S., y Ponton, C. (2012). The mismatch negativity (MMN)--a unique window to disturbed central auditory processing in ageing and different clinical conditions. *Clin Neurophysiol*, 123(3), 424-458. doi: 10.1016/j.clinph.2011.09.020
- Näätänen, R., Teder, W., Alho, K., y Lavikainen, J. (1992). Auditory attention and selective input modulation: a topographical ERP study. *Neurorep*, 3(6), 493-496.
- Parmentier, F. B. (2008). Towards a cognitive model of distraction by auditory novelty: the role of involuntary attention capture and semantic processing. *Cognition*, 109(3), 345-362. doi: 10.1016/j.cognition.2008.09.005
- Parmentier, F. B., y Maybery, M. T. (2008). Equivalent effects of grouping by time, voice, and location on response timing in verbal serial memory. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 34(6), 1349-1355. doi: 10.1037/a0013258
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol*, 118(10), 2128-2148. doi: 10.1016/j.clinph.2007.04.019
- Polo, M. D., Escera, C., Yago, E., Alho, K., Gual, A., y Grau, C. (2003). Electrophysiological evidence of abnormal activation of the cerebral network of involuntary attention in alcoholism. *Clin Neurophysiol*, 114(1), 134-146.
- Portellano, J. A. (2005). *Introducción a la Neuropsicología*. Madrid: McGraw-Hill.
- Portellano, J. A., y García-Alba, J. (2014). *Neuropsicología de la atención, las funciones ejecutivas y la memoria* (Síntesis Ed.). Madrid.
- Posner, M. I., y Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annu Rev Neurosci*, 13, 25-42. doi: 10.1146/annurev.ne.13.030190.000325
- Posner, M. I., y Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annu Rev Psychol*, 58, 1-23. doi: 10.1146/annurev.psych.58.110405.085516
- Potes, C., Brunner, P., Gunduz, A., Knight, R. T., y Schalk, G. (2014). Spatial and temporal relationships of electrocorticographic alpha and gamma activity during auditory processing. *Neuroimage*, 97, 188-195. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.04.045
- Redolar, R. D. (2014). *Neurociencia Cognitiva*. Madrid: Ed. Panamericana.
- Ruiz, V., J. (1993). Atención y control: Modelos y problemas para una integración teórica. *Rev. de Psicol. Gral. y Aplic.*, 46, 125-137.
- San Miguel, I., Corral, M. J., y Escera, C. (2008). When loading working memory reduces distraction: behavioral and electrophysiological evidence from an auditory-visual distraction paradigm. *J Cogn Neurosci*, 20(7), 1131-1145. doi: 10.1162/jocn.2008.20078
- Scott, S. H., Cluff, T., Lowrey, C. R., y Takei, T. (2015). Feedback control during voluntary motor actions. *Curr Opin Neurobiol*, 33, 85-94. doi: 10.1016/j.conb.2015.03.006

- Schröger, E., Giard, M. H., y Wolff, C. (2000). Auditory distraction: event-related potential and behavioral indices. *Clin Neurophysiol*, 111(8), 1450-1460.
- Schröger, E., y Wolff, C. (1998a). Attentional orienting and reorienting is indicated by human event-related brain potentials. *Neurorep*, 9(15), 3355-3358.
- Schröger, E., y Wolff, C. (1998b). Behavioral and electrophysiological effects of task-irrelevant sound change: a new distraction paradigm. *Brain Res Cogn Brain Res*, 7(1), 71-87.
- Serrien, D. J., Pogosyan, A. H., Cassidy, M. J., y Brown, P. (2004). Anticipatory cortico-cortical interactions: switching the task configuration between effectors. *Exp Brain Res*, 154(3), 359-367. doi: 10.1007/s00221-003-1667-2
- Sokolov, E. N. (1963). *Perception and the Conditioned Reflex*. New York: MacMillan. .
- Sokolov, E. N. (1990). The orienting response, and future directions of its development. *Pavlov J Biol Sci*, 25(3), 142-150.
- Solís-Ortiz, S., Ramos, J., Arce, C., Guevara, M. A., y Corsi-Cabrera, M. (1994). EEG oscillations during menstrual cycle. *Int J Neurosci*, 76(3-4), 279-292.
- Solís-Vivanco, R. (2011). *Estudio de la atención involuntaria, mediante potenciales relacionados con eventos, en pacientes con enfermedad de Parkinson*. (Doctorado Doctorado), UNAM, México, D.F.
- Solís-Vivanco, R., Ricardo-Garcell, J., y Rodríguez-Agudelo, Y. (2009). La atención involuntaria: Aspectos clínicos y electrofisiológicos. *Rev Ecuatorian Neurol*, 18(1-2), 94-104.
- Solís-Vivanco, R., Ricardo-Garcell, J., Rodríguez-Camacho, M., Prado-Alcala, R. A., Rodríguez, U., Rodríguez-Violante, M., y Rodríguez-Agudelo, Y. (2011). Involuntary attention impairment in early Parkinson's disease: an event-related potential study. *Neurosci Lett*, 495(2), 144-149. doi: 10.1016/j.neulet.2011.03.058
- Solís-Vivanco, R., Rodríguez-Violante, M., Rodríguez-Agudelo, Y., Schilman, A., Rodríguez-Ortiz, U., y Ricardo-Garcell, J. (2015). The P3a wave: A reliable neurophysiological measure of Parkinson's disease duration and severity. *Clin Neurophysiol*, 126(11), 2142-2149. doi: 10.1016/j.clinph.2014.12.024
- Sternberg, R. J. (2011). *Psicología Cognoscitiva* (C. Learning Ed. 5ta ed.). México, D.F.
- Sussman, E., Winkler, I., y Schroger, E. (2003). Top-down control over involuntary attention switching in the auditory modality. *Psychon Bull Rev*, 10(3), 630-637.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., y John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150(3700), 1187-1188.
- Thiel, C. M., Zilles, K., y Fink, G. R. (2004). Cerebral correlates of alerting, orienting and reorienting of visuospatial attention: an event-related fMRI study. *Neuroimage*, 21(1), 318-328. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.08.044
- Treisman, A. M. (1964). Selective Attention in Man. *Br Med Bull*, 20, 12-16.
- Visintin, E., De Panfilis, C., Antonucci, C., Capecci, C., Marchesi, C., y Sambataro, F. (2015). Parsing the intrinsic networks underlying attention: a resting state study. *Behav Brain Res*, 278, 315-322. doi: 10.1016/j.bbr.2014.10.002
- W.M.A. (2009). Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects by the World Medical Association. from <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/>
- Wetzel, N., y Schröger, E. (2014). On the development of auditory distraction: A review. *Psych J*, 3(1), 72-91. doi: 10.1002/pchj.49

- Wetzel, N., Widmann, A., Berti, S., y Schroger, E. (2006). The development of involuntary and voluntary attention from childhood to adulthood: a combined behavioral and event-related potential study. *Clin Neurophysiol*, *117*(10), 2191-2203. doi: 10.1016/j.clinph.2006.06.717
- Winkler, I., Tervaniemi, M., Schroger, E., Wolff, C., y Naatanen, R. (1998). Preattentive processing of auditory spatial information in humans. *Neurosci Lett*, *242*(1), 49-52.
- Xuan, B., Mackie, M. A., Spagna, A., Wu, T., Tian, Y., Hof, P. R., y Fan, J. (2016). The activation of interactive attentional networks. *Neuroimage*, *129*, 308-319. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.01.017

XI. ANEXOS

ANEXO 1



"ESTUDIO ELECTROFISIOLÓGICO DE ATENCIÓN INVOLUNTARIA"

DATOS DEMOGRÁFICOS

Fecha ___/___/___

NOMBRE: _____
EDAD: _____ FECHA DE NACIMIENTO: _____
ESTADO CIVIL _____
LUGAR DE NACIMIENTO: _____
NACIONALIDAD: _____ RELIGIÓN: _____
ESCOLARIDAD: _____
ESCOLARIDAD MADRE: _____
ESCOLARIDAD PADRE: _____
OCUPACIÓN: _____
USO DE APARATOS _____
LATERALIDAD: _____
DIRECCIÓN: _____
TELÉFONO: _____

CONSUMO DE SUSTANCIAS

Frecuencia

Alcohol SI / NO _____
Tabaco SI / NO _____
Otra SI / NO _____

¿Se encuentra Ud. bajo algún tratamiento médico-psicológico que crea conveniente mencionar?

¿Toma algún medicamento? SI / NO ¿Cuál? ¿Hormonal? _____

Orden de las condiciones

Día del ciclo menstrual: _____

Activa relevante con respuesta	
Activa relevante sin respuesta	
Activa irrelevante	
Pasiva	