



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**“Cambios en la atención involuntaria asociados con un  
incremento de demanda en la memoria de trabajo: un estudio  
electrofisiológico”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADA EN PSICOLOGÍA**

PRESENTA:

**JESSICA MORALES HERNÁNDEZ**

DIRECTOR: LIC. RODOLFO SOLÍS VIVANCO

REVISORA: DRA. MAURA JAZMÍN RAMÍREZ FLORES

SINODALES: MTRA. IRMA ZALDÍVAR MARTÍNEZ

DRA. JOSEFINA RICARDO GARCELL

DRA. IRMA YOLANDA DEL RÍO PORTILLA

TUTORA EXTERNA: DRA. YANETH RODRÍGUEZ AGUDELO



MÉXICO, D.F. a 1 de septiembre del 2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi hermosa familia, ellos son mi soporte, mi guía, mi lugar seguro y por sobre todo quienes siempre creen y confían en mí. A mi papá, eres un gran hombre y el mejor papá, a quien admiro y quiero con todo mi corazón. Gracias papá porque siempre me apoyas, me das consejos y siempre me levantas cuando me caigo, me animas a seguir y me impulsas a ser una mejor persona. Siempre estás ahí, sabio, fuerte, dando sin esperar nada a cambio, con la verdad en la boca y seguro de tus pasos, haciéndome reír y hacer berrinches jajaja, escuchándome y cuidándome. A mi mamá, que siempre me apoya, me dice lo que me falta hacer jajajaja, me escucha y me brinda su amor y su complicidad en cosas de chicas. Ella siempre procurando que nada se me olvide, que tenga las cosas en orden, me cuida y me da ánimo. Muchas gracias, te admiro por ser una gran mujer y una gran mamá, por eso te quiero mucho. A mi hermano, con quien peleé y discutí jajajaja, compartí una vida, y quiero. A quien siempre intenté seguir y alcanzar, a ese hermano mío que aunque estemos lejos siempre estaremos cerca, te quiero hermanito. A alguien muy especial, alguien con quien he aprendido mucho y compartido más, a Kalin. Mi mejor amigo, mi cómplice, a quien admiro y respeto por ser un joven viejo jijijiji. Kalin gracias por estar conmigo, por todo lo que hemos vivido y viviremos, por los regañones jajajaja y por toda la felicidad, eres parte de mi familia, te quiero cada día más y por supuesto: gracias..... totales!!!! (Jajaja). ¡GRACIAS MI HERMOSA FAMILIA, LOS AMO!

También quiero dedicarla a cada uno de mis amigos que me han acompañado en las diferentes etapas de mi vida: los de la secundaria (Ivonne y Arely), los de la prepa (Fanny jajajaja, ¡te quiero amiga!, y Yaz), y por supuesto a los de la universidad (Titisssss, Sandrita, Diana, Omar y Aide). A todos gracias, por el tiempo, las risas, los trabajos jajaja, los abrazos y los recuerdos, ¡los quiero a todos!

Al lugar que me permitió la realización de este proyecto, al Departamento de Neuropsicología del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía y a todos con quienes conviví y con quienes pase momentos increíbles: Yvonne, Elisa, Pancho, Ale, Sandra, Mire, gracias a todos. En especial quiero agradecer a dos

personas: a Sebas, por sus clases de cómo manejar el NeuroScan y su sabio “no escribas” jajajaja y a Rúben por su apoyo en la construcción y modificación del paradigma y resolución de diversas dudas jajajaja. Gracias a Rodo, por su guía, correcciones y platicas de todo, por su tiempo y paciencia y por sus consejos. A la Dra. Yaneth Rodríguez por permitir la realización de ésta investigación en su departamento.

Y por último, gracias a todos aquellos que dejaron una huella en mi y que me permitieron ser mejor cada día.

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>2.1. Atención.....</b>   | <b>9</b>  |
| <i>2.1.1. Atención voluntaria.....</i>  | <i>12</i> |
| <i>2.1.2. Atención involuntaria.....</i>  | <i>15</i> |
| <b>2.2. Modelo de tres fases<br/>de la atención involuntaria (Distracción).....</b> | <b>19</b> |
| <b>2.3. Electrofisiología de la atención<br/>involuntaria.....</b>                  | <b>20</b> |
| <b>2.4. Estudios de atención involuntaria, memoria de trabajo y PRE<br/>.....</b>   | <b>32</b> |
| <b>III. MÉTODO.....</b>   | <b>39</b> |
| <b>3.1. Justificación.....</b>  | <b>39</b> |
| <b>3.2. Planteamiento del problema.....</b>   | <b>39</b> |
| <b>3.3. Objetivos.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>3.4. Hipótesis.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>3.5. Definición de variables.....</b>  | <b>41</b> |
| <i>3.5.1. Variables independientes.....</i>   | <i>41</i> |
| <i>3.5.2. Variables dependientes.....</i>   | <i>41</i> |
| <b>3.6. Participantes.....</b>  | <b>41</b> |
| <b>3.7. Instrumentos.....</b>   | <b>42</b> |
| <i>3.7.1. Condiciones experimentales y estímulos.....</i>                           | <i>42</i> |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.7.2. <i>PRE</i> .....                            | 46        |
| <b>3.8. Tipo de diseño.....</b>                    | <b>47</b> |
| <b>3.9. Procedimiento.....</b>                     | <b>47</b> |
| <b>3.10. Análisis Estadístico.....</b>             | <b>48</b> |
| <b>IV. RESULTADOS.....</b>                         | <b>50</b> |
| <b>4.1. Características Sociodemográficas.....</b> | <b>50</b> |
| <b>4.2. Componente electrofisiológicos.....</b>    | <b>50</b> |
| <b>4.3. Amplitudes.....</b>                        | <b>53</b> |
| 4.3.1. <i>MMN</i> .....                            | 53        |
| 4.3.2. <i>P3a</i> .....                            | 54        |
| 4.3.3. <i>RON</i> .....                            | 54        |
| <b>4.4. Latencias.....</b>                         | <b>55</b> |
| <b>4.5. Tiempos de reacción.....</b>               | <b>56</b> |
| <b>4.6. Porcentaje de errores.....</b>             | <b>57</b> |
| <b>V. DISCUSIÓN.....</b>                           | <b>60</b> |
| <b>VI. CONCLUSIONES.....</b>                       | <b>66</b> |
| <b>VII. CONSIDERACIONES FINALES.....</b>           | <b>67</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>                            | <b>68</b> |

## RESUMEN

**Introducción.** La atención involuntaria (AI) es una respuesta cognitiva automática a estímulos novedosos y se ha estudiado mediante la técnica de potenciales relacionados con eventos (PRE), incluyendo el potencial trifásico de distracción constituido por 3 componentes: la Negatividad de disparidad auditiva (MMN), la P3a, asociada con el cambio automático de la atención hacia una modificación en el entorno, y la Negatividad de Reorientación (RON), que representa la reorientación cognitiva a la tarea originalmente atendida. Aunque se sabe que la AI está regulada por la memoria de trabajo (MT), los datos sobre su influencia son controversiales. **Objetivo.** Estimar los cambios en la atención involuntaria asociados con incremento de demanda en memoria de trabajo mediante la técnica de potenciales relacionados con eventos. **Método.** Se realizó un registro electroencefalográfico a 20 sujetos universitarios, de 18 a 25 años, mientras ejecutaban la tarea N-back en modalidad auditiva con presencia de distractores y tres niveles de demanda (1, 2 y 3 back). Se obtuvieron los componentes MMN, P3a y RON cada nivel de demanda, con ventanas de 650 ms, incluyendo 100 ms previos al estímulo. Se realizaron ANOVAs de medidas repetidas para las latencias y amplitudes de cada componente, comparándolos en las tres condiciones. **Resultados.** La MMN se presentó más temprana en la condición de menor demanda ( $F=3.7$ ,  $p=0.03$ ), mientras que la P3a se presentó más tardía en la condición 2-Back ( $F=3.4$ ,  $p=0.04$ ). La amplitud del componente RON fue menor en la condición de mayor demanda 3-Back ( $F=3.5$ ,  $p<0.0001$ ). Los tiempos de reacción fueron mayores para los estímulos que compartían la característica de ser infrecuentes (distractores) ( $F=28.6$ ,  $p<0.0001$ ) y los porcentajes de errores fueron mayores para los estímulos target ( $F=42.8$ ,  $p<0.0001$ ). **Discusión.** Los resultados indicaron una modulación de la demanda cognitiva en memoria de trabajo sobre la rapidez de la detección automática de la disparidad (MMN) y del cambio automático de la atención (P3a), así como sobre los recursos neurocognitivos necesarios para la reorientación de la atención (RON). Esto sugiere que el deterioro de la ejecución es debido a la demanda y no a la distracción.

## I. INTRODUCCIÓN

*Si nos encontramos inmersos leyendo un texto, el cual se complica cada vez más, por lo que necesitamos concentrarnos en éste y evitar distracciones para poder entenderlo. Sin embargo, si súbitamente suena el teléfono, nuestra atención indudablemente será captada por este evento de manera automática. Estos dos sucesos, concentrarse y distraerse, son procesos cognitivos necesarios, y que ocurren en la cotidianidad de nuestra vida, ya que permanente estamos rodeados de estímulos externos e internos que demandan un procesamiento de nuestra parte. El equilibrio y modulación de la concentración (o atención voluntaria) y la distracción (o atención involuntaria) nos permiten dar respuestas adaptativas y eficientes, pues es tan importante atender la información que necesitamos para comprender ese hipotético y complicado texto, como el darnos cuenta de que alguien nos llama. Ahora, supongamos que el teléfono suena en dos ocasiones: una cuando el texto es fácil y no demanda demasiada concentración y otra, cuando éste aumenta su dificultad y su comprensión se ha vuelto todo un reto. ¿En cuál de los dos momentos nos distraemos más fácilmente: cuando la demanda de comprensión es menor o cuando es mayor? El presente estudio pretende abordar dicha pregunta, y busca responder, mediante la técnica de potenciales relacionados con eventos (PRE), si la distracción (o atención involuntaria) cambia en función del nivel de demanda cognitiva de una tarea realizada en un determinado momento.*

Para poder responder al anterior planteamiento es importante primero abordar la información acerca de la atención. En la primera parte del capítulo dos se describe la atención y su clasificación en atención voluntaria e involuntaria. Además se explican los dos principales mecanismos de regulación de la atención *top-down* y *bottom-up*, quienes nos permiten tanto prestar atención como filtrar la información que no es relevante (Ruiz-Contreras & Cansino, 2005).

En la segunda parte del capítulo dos se describe el modelo de las tres fases de la atención Involuntaria la atención, la cual nos explica que son diversos momentos, desde que detectamos que hay un cambio en el entorno, hasta que



decidimos que hacer, por los que pasa nuestra atención involuntaria (Horváth et al., 2009; Solís-Vivanco et al., 2009). Estas etapas o fases, son descritas por el modelo de las tres fases de la atención involuntaria.

Dentro de la tercera parte del capítulo dos encontraremos la sección de electrofisiología de la atención, en la cual se hablará de los Potenciales Relacionados con Eventos, estas fluctuaciones de voltaje que están asociadas con los estímulos que se le presentan a los sujetos (Escera, 2002; Luck, Woodman & Vogel, 2000; Nuñez-Peña et al., 2004; Solís-Vivanco et al., 2009) y como se ha empleado esta técnica para estudiar la atención involuntaria.

En la última parte de la sección dos se presentan los trabajos que se han realizado con la atención involuntaria, la memoria de trabajo y los potenciales relacionados con eventos.

En la sección tres se describe la metodología, desde cuáles fueron los motivos y el porqué de la realización de esta investigación, hasta la explicación del paradigma auditivo que se utilizó, el cuál combinó la tarea de memoria de trabajo *N-back* y el paradigma auditivo ya establecido de atención involuntaria.

En la cuarta sección se encuentran los hallazgos de esta investigación, en los cuales se describe el cambio más representativo: la disminución de amplitud del componente denominado Negatividad de Reorientación durante la tarea de memoria de trabajo *N-back* de mayor demanda (3-Back).

En las dos últimas partes de esta investigación se discuten los resultados y se presentan las conclusiones, la más relevante fue que el deterioro en la ejecución de las personas cuando realizan una tarea muy complicada es debido a la dificultad para regresar la atención hacia la tarea principal después que ha ocurrido una distracción.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Atención

La atención es el proceso cognitivo que filtra y selecciona la información útil o funcional que proviene del medio (externo o interno) y está compuesta por mecanismos de control que modulan las respuestas a la estimulación sensorial (Awh, Vogel & Oh, 2006; Berti, 2008; Berti, Roeber & Schröger, 2004; Escera, 2002; Escera & Corral, 2003; Estévez-González, García-Sánchez & Junqué, 1997; Luria, 1979; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005; San-Miguel, Corral & Escera, 2008; Solís-Vivanco, Ricardo Garcell & Rodríguez Agudelo, 2009). Al procesarse sólo cierta cantidad de estímulos, se distribuyen mejor los recursos cognitivos que utiliza el sistema nervioso para el proceso de esos datos atendidos (Estévez-González et al., 1997; Posner & Presti, 1987; San-Miguel et al., 2008). También es un sistema funcional complejo, dinámico y multimodal que proporciona un orden jerárquico y temporal a la información que es percibida (Portellano, 2005).

La atención precede al procesamiento de la información y ocurre de manera simultánea con la percepción y la memoria a corto y largo plazo (Estévez-González et al., 1997; Téllez López, Téllez López, Mendoza González, Butcher López, Pacheco Ralley & Tirado Medina, 2002). Los aspectos que definen su integridad son la orientación, la exploración y la concentración o vigilancia, y su déficit está manifestado por la distractibilidad, la impersistencia, la perseveración, la confusión y la negligencia (Estévez-González et al., 1997).

Esta función se comporta de manera diferente dependiendo de la naturaleza de los estímulos, si se tratan de estímulos novedosos o de algo que habíamos percibido con anterioridad (Téllez López et al., 2002). Está constituida por componentes perceptivos, motores y límbicos o motivacionales (Estévez-González et al., 1997) y su funcionamiento adecuado es fundamental para la correcta ejecución de otros procesos, como la memoria, las funciones ejecutivas y el aprendizaje (Estévez-González et al., 1997; González Garrido & Ramos-Loyo, 2006; Portellano, 2005; Solís-Vivanco et al., 2009).

La atención, siendo un proceso multimodal, implica a diversas estructuras del sistema nervioso, desde áreas subcorticales hasta zonas de asociación localizadas en la corteza, las cuales llevan cabo procesos más complejos y especializados (Estévez-González et al., 1997; Posner & Petersen, 1990; Posner, Sheese, Odludas & Tang, 2006; Téllez López et al., 2002). La primera estructura involucrada en el proceso de atención es la formación reticular, ubicada en el centro del tallo cerebral, área asociada con el mantenimiento del estado de alerta y con la atención sostenida (Luria, 1979; Posner et al., 2006; Téllez López et al., 2002). La formación reticular regula la entrada de información sensorial proveniente del medio y mantiene a la corteza cerebral en vigilia (Luria, 1979; Téllez López et al., 2002).

Otra de las estructuras que participan en este proceso es el núcleo pulvinar del tálamo, el cual regula la atención selectiva, filtrando la información que será procesada después por otras estructuras (Posner & Petersen, 1990; Téllez López et al., 2002). Otra zona necesaria para la atención es la región ventral del giro del cíngulo, la cual permite dar una respuesta adecuada agregando contenido emocional a la información que se recibe (Posner et al., 2006; Téllez López et al., 2002; Woodward, Cairo, Ruff, Takane, Hunter & Ngan, 2006).

Los lóbulos parietales y temporales realizan el análisis de la información ambiental que está siendo captada en las modalidades sensoriales correspondientes a los estímulos (Posner & Presti, 1987; Téllez López et al., 2002). Finalmente, los lóbulos frontales dirigen la atención de manera apropiada, monitorizan la secuencia temporal de acontecimientos y jerarquizan los estímulos por grado de prioridad (Berger & Posner, 2000; Estévez-González et al., 1997; Müller & Knight, 2006; Posner & Presti, 1987; Posner et al., 2006; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005; Suchan, Pickenhagen & Daum, 2005; Téllez López et al., 2002).

La atención implica procesos de facilitación e inhibición selectivos en los múltiples niveles del sistema nervioso; los cuales son regulados principalmente por la corteza prefrontal, siendo la región dorsolateral la que actúa de manera excitatoria y la región orbitofrontal la que ejecuta la actividad inhibitoria

(Estévez-González et al., 1997; Herrmann & Knight, 2001; Nielsen-Bohlman & Knight, 1999; Téllez López et al., 2002).

Al proceso de atención lo acompañan dos mecanismos opuestos de control, el endógeno y el exógeno, que interactúan modulando la entrada de información hacia el sistema nervioso de acuerdo a la relevancia de los estímulos (Escera, Alho, Schröger & Winkler, 2000; San-Miguel et al., 2008; Solís-Vivanco et al., 2009). Este carácter de relevancia de los estímulos es relativo, ya que cualquier dato, antes sin importancia, puede convertirse en relevante y tener un procesamiento ulterior (González Garrido & Ramos-Loyo, 2006; Solís-Vivanco et al., 2009).

Dos factores determinan si un evento es lo suficientemente relevante como para ser atendido y procesado: el primero es interno (endógeno) y se refiere a las metas, los objetivos o tareas establecidas por cada organismo, tratándose así de un proceso de selección activo y focalizado; el segundo factor es exógeno y es un proceso pasivo, ya que es activado por las características del evento: su intensidad, novedad, si es inesperado, etc. Los estímulos correspondientes a este segundo factor son normalmente considerados como distractores (Smith & Kosslyn, 2008; Solís-Vivanco et al., 2009).

Estos dos mecanismos compiten por los recursos que el sistema nervioso proporciona para el procesamiento de estímulos, tal y como lo describe la teoría de la competición sesgada o de la competición integrada, desarrollada por Desimone y Duncan (1995) y por Duncan y sus colaboradores (1997) (Beck & Kastner, 2009; Desimone & Duncan, 1995; Smith & Kosslyn, 2008). En esta teoría se considera a la atención como parte integral del procesamiento cognitivo que resuelve la competencia de los estímulos por los recursos cognitivos (Beck & Kastner, 2009; Smith & Kosslyn, 2008), y establece que esta competición involucra varias regiones cerebrales, tales como la corteza estriada, la corteza posterior parietal y la corteza prefrontal, las cuales procesan de manera integral la información y “deciden” qué será atendido (Beck & Kastner, 2009; Desimone & Duncan, 1995; Smith & Kosslyn, 2008).

Ambos mecanismos necesitan ser flexibles y mantener una correcta distribución de los recursos cognitivos limitados, pues deben ser capaces de destinar recursos tanto para la tarea principal y estímulos cuya relevancia fue establecida previamente, como para estímulos que pueden o deben convertirse en relevantes por su potencial papel para la supervivencia de los individuos (Berti & Schröger, 2003; Gruber, Melcher, Diekhof, Karch, Falkai & Goschke, 2009; Horváth, Czigler, Birkás, Winkler & Gervai, 2009; San-Miguel et al., 2008; Solís-Vivanco et al., 2009). Así, la atención puede ser dirigida de manera voluntaria o puede ser captada de manera inesperada por el ambiente. Estos dos tipos de atención se denominan *voluntaria o endógena e involuntaria o exógena*, respectivamente (Herrmann & Knight, 2001; Luria, 1979).

### 2.1.1. Atención Voluntaria

El primer tipo de atención, motivada por objetivos o metas estipuladas por el sujeto, es un proceso de selección activo y focalizado porque es controlado de manera consciente por éste (Escera & Corral, 2003; Herrmann & Knight, 2001; Lepsien & Nobre, 2006; Luria, 1979). Esta atención se divide en diferentes tipos:

- Atención sostenida o capacidad atencional. Se refiere a la capacidad de mantener la atención en la información durante un tiempo prolongado, a pesar de la fatiga y de la distracción (Estévez-González et al., 1997; González Garrido & Ramos-Loyo, 2006; Portellano, 2005; Solís-Vivanco et al., 2009).
- Atención selectiva o focal. Constituye el nivel más especializado de atención y se refiere a la capacidad de seleccionar e integrar información específica relevante y la habilidad de atenderla mientras se ignora información irrelevante (Awh et al., 2006; Estévez-González et al., 1997; Gomarús, Althaus, Wijers & Minderaa, 2006; González Garrido & Ramos-Loyo, 2006; Portellano, 2005; Rissman, Gazzaley & D'Esposito, 2009).
- Atención dividida o compartida. Es la capacidad de atender simultáneamente dos o más estímulos o tareas o demandas diferentes

en una misma tarea. Hay un procesamiento en paralelo (Estévez-González et al., 1997; González Garrido & Ramos-Loyo, 2006; Portellano, 2005; Solís-Vivanco et al., 2009).

La información que atendemos de manera voluntaria requiere un almacén temporal, que la mantenga accesible y activa, para poder utilizarla y manipularla respecto a los propósitos previamente establecidos, funciones que realiza la memoria de trabajo (Baddeley, 1998; Berti & Schröger, 2003; Blokland, McMahon, Hoffman, Zhu, Meredith, Martin, Thompson, Zubicaray & Wright, 2008; Chen, Mitra & Schlaghecken, 2008; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005; Shucard, Tekok-Kilic, Shiels & Shucard, 2009). Este almacén temporal tiene una capacidad limitada, es decir, sólo puede mantener accesible cierta cantidad de información (Awh et al., 2006; Baddeley, 1998; Shucard et al., 2009; Smith & Kosslyn, 2008). Esta capacidad varía de persona a persona y es establecida por una serie de pruebas en las que se determina el número de elementos que se pueden retener temporalmente (*span* de memoria de trabajo) (Smith & Kosslyn, 2008).

Para utilizar esta información disponible de una manera óptima y así planear acciones futuras, son necesarias dos características de la memoria de trabajo: a) su influencia sobre la atención selectiva, que permite seleccionar la información del medio y b) su propiedad reflexiva, es decir, que evalúe la información y la use o no según sea lo más apropiado (Baddeley, 1998; Jansma, Ramsey, Coppola & Kahn, 2000). Es así que contar con el sistema de memoria de trabajo proporciona a los sujetos la capacidad de reflexionar y escoger sus acciones (Baddeley, 1998; Berti et al., 2004; Blokland et al., 2008; Shucard et al. 2009; Yoon, Curtis & D'Esposito, 2006). Diferentes regiones de la corteza prefrontal se activan durante la ejecución de tareas de memoria de trabajo (Shucard et al., 2009; Smith & Kosslyn, 2008), así como de los lóbulos parietales (Shucard et al., 2009).

La memoria de trabajo, de acuerdo al modelo de modelo de Baddeley y Hitch (1974) de memoria operativa, es un sistema dinámico conformado por dos almacenes temporales (bucle fonológico y *block* de notas visuoespacial) y un sistema de control (ejecutivo central) (Baddeley, 1998; González Garrido &

Ramos-Loyo, 2006; Hulme & Mckenzie, 1994; Smith & Kosslyn, 2008). Baddeley y Hitch hacen énfasis en la forma dinámica en la que trabajan estos tres componentes, y establecen que los dos almacenes temporales permiten manipular la información que está siendo percibida por los sentidos, mientras que el sistema de control coordina la interacción y funcionamiento de los almacenes, determinando además cuál de la información permanece y cuál debe ser retirada (Smith & Kosslyn, 2008).

El sistema ejecutivo central es la parte más importante del modelo, pues desempeña funciones de control directivo de la conducta, detección de blancos, detección de errores, resolución de conflictos e inhibición automática de la respuesta (Berger & Posner, 2000; Hulme & Mckenzie, 1994), las cuales permiten el correcto funcionamiento y la eficacia en la ejecución de tareas. Es un sistema flexible, que responde con recursos atencionales equivalentes a las demandas de estimulación ambiental (Eysenck, 1985). Se encarga de estipular si la información se almacenará y en cuál de los almacenes; integra y coordina los almacenes y finalmente permite que se lleve a cabo el procesamiento cognitivo de los estímulos (Hulme & Mckenzie, 1994; Smith & Kosslyn, 2008). El ejecutivo central también determina la distribución de los recursos cognitivos, permitiendo a la atención dirigirse de manera específica a aquellos estímulos relevantes que son necesarios para la tarea o situación actual, y al mismo tiempo impidiendo que la información irrelevante capte la atención (González Garrido & Ramos-Loyo, 2006).

Se ha propuesto que la memoria de trabajo ejerce control sobre la dirección de la atención cuando se está realizando una tarea (Berti, 2008; Dolcos, Miller, Kragel, Jha & McCarthy, 2007; Lepsien & Nobre, 2006; San-Miguel et al., 2008), es así que una de las funciones más importantes que realiza este sistema es el control de la atención, dirigiéndola a la información que resulta relevante para las metas, objetivos o necesidades de los sujetos (Awh et al., 2006; Berti, 2008; Berti et al., 2004; Berti & Schröger, 2003; Müller & Knight, 2006; Oberauer, 2002; San-Miguel et al., 2008). El tipo de control que ejerce la memoria de trabajo es *top-down* (arriba-abajo) (Awh et al., 2006; Berti et al., 2004; San-Miguel et al., 2008), mecanismo de control que se refiere a los

procesos de selección que dirigen la atención a la información que resulta importante para nuestras metas, permitiendo de esta forma inhibir o disminuir la atención sobre aquellos estímulos que no son relevantes para cumplir el objetivo (Beck & Kastner, 2009; Berti et al., 2004; Desimone & Duncan, 1995; Escera et al., 2000; Lepsien & Nobre, 2006; Miller, Deouell, Dam, Knight & D'Esposito, 2008; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005; Smith & Kosslyn, 2008).

El mecanismo *top-down* permite un funcionamiento eficaz del sistema nervioso y la emisión de respuestas adecuadas, evitando la captura de la atención por parte de los estímulos sensoriales que pudieran representar distracciones (Dolcos et al., 2007; Posner & Presti, 1987; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005). Todo esto sugiere que la memoria de trabajo adapta la distractibilidad a un nivel apropiado para responder de manera eficiente según sea la demanda de la tarea que se está llevando a cabo (Berti et al., 2004).

El mecanismo *top-down* está controlado por el sistema frontoparietal, que involucra a la corteza prefrontal, la corteza parietal posterior y el surco intraparietal (Gruber et al., 2009; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005). La corteza prefrontal se describe como el área moduladora del procesamiento sensorial, que además permite mantener la atención sobre un estímulo específico que resulta de gran importancia para realizar una tarea (Beck & Kastner, 2009; Chen et al., 2008; Gruber et al., 2009; Lepsien & Nobre, 2006; Miller et al., 2008; Müller & Knight, 2006; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005; San-Miguel et al., 2008; Shucard et al., 2009). El área que detecta este estímulo particular relevante para la tarea es el surco intraparietal, cuya tasa de disparo aumenta cuando se presenta información distractora que puede desviar la atención de la tarea, proponiéndose que además de centrar la atención en los estímulos relevantes, suprime el procesamiento de aquéllos que no lo son (Ruiz-Contreras & Cansino, 2005).

### 2.1.2. Atención Involuntaria

El segundo tipo de atención, motivado por las características físicas del estímulo, es llamada *involuntaria* o *exógena*, pues la atención es capturada por estímulos que son novedosos y/o potencialmente relevantes (Escera, 2002;



Luria, 1979; Smith & Kosslyn, 2008; Sussman, Winkler & Schröger, 2003; Téllez López et al., 2002). Estos estímulos son inesperados, intensos y/o de gran importancia para la supervivencia: el sonido de una alarma, la ruptura de un vidrio, un golpe, un piquete, dolor, etc. (Escera, 2002; Escera & Corral, 2003; Escera, Yago & Alho, 2001; Horváth, Winkler & Bendixen, 2008; Smith & Kosslyn, 2008; Téllez López et al., 2002).

La atención involuntaria se caracteriza conductualmente por un complejo de respuestas motoras y fisiológicas, denominada *reflejo de orientación* (Escera, 2002; Escera & Corral, 2003; Escera et al., 2001; Luria, 1979; Téllez López et al., 2002). El reflejo de orientación es la respuesta inmediata ante los cambios del medio, permitiendo orientar el órgano receptor apropiado de acuerdo con las características del cambio (Eysenck, 1967; González Garrido & Ramos-Loyo, 2006; Solís-Vivanco et al., 2009; Téllez López et al., 2002). El reflejo de orientación se genera también por respuestas esperadas que no suceden (Téllez López et al., 2002). Las respuestas fisiológicas de este reflejo tienen como propósito otorgar mayor sensibilidad hacia el estímulo entrante para poder detectar lo que está sucediendo y así preparar una respuesta adecuada (Eysenck, 1967; Luria, 1979; Solís-Vivanco et al., 2009). Estas respuestas se presentan en la Tabla 1 (Eysenck, 1967; Luria, 1979).

Tabla 1. Respuestas fisiológicas del *reflejo de orientación*. Información tomada de Eysenck, 1967; Luria, 1979; González Garrido & Ramos-Loyo, 2006.

| <b>CAMBIO FISIOLÓGICO</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS</b>  |
|---|--|
| Incremento de la sensibilidad de los órganos de los sentidos                  | <p>Dilatación de las pupilas.</p> <p>Cambios fotoquímicos en la retina, reduciendo el umbral para la intensidad de la luz.</p> <p>Reducción del umbral auditivo.</p>   |
| Cambios en la musculatura esquelética que dirigen los órganos de los sentidos | Dirección de la cabeza hacia la fuente del estímulo.   |
| Cambios en la musculatura general esquelética                                 | <p>Suspensión temporal de las reacciones salientes.</p> <p>Incremento del tono muscular general, aumentando la preparación para la actividad del músculo esquelético.</p>  |
| Cambios de frecuencia y amplitud en el EEG                                    | Incremento del <i>arousal</i> . Se observa actividad rápida y de baja amplitud.  |
| Cambios vegetativos   | <p>Vasoconstricción en las extremidades y vasodilatación en la cabeza.</p> <p>Aumento en la respuesta galvánica de la piel.</p> <p>Retraso en la tasa respiratoria, seguida por un incremento en la amplitud y un decremento en la frecuencia.</p> <p>Disminución de la tasa cardíaca.</p> |

La función del *reflejo de orientación* es “preparar al organismo para lidiar con estímulos novedosos” (Lynn, 1967, p5.). Durante la aparición de este reflejo las actividades que se están realizando son detenidas, de esta manera no podrán interferir con las respuestas requeridas y adecuadas a los cambios en el ambiente (Eysenck, 1967).

Las características de los estímulos que generan el *reflejo de orientación*, según Berlyne (1960) son: novedad, intensidad, color, estímulo condicionado, sorpresa, complejidad, incertidumbre o incongruencia y conflicto. Cuando estas características son captadas sensorialmente, nuestra atención se dirigirá de manera automática hacia esa información, es entonces que entra en funcionamiento el mecanismo *bottom-up* (abajo arriba) (Berti et al., 2004; Desimone & Duncan, 1995; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005). Este mecanismo está relacionado con el proceso que se da durante la atención involuntaria o exógena (Berti et al., 2004; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005; Smith & Kosslyn, 2008) y se refiere a la captura atencional por parte de estímulos que sobresalen por sus características físicas en un contexto, como por ejemplo su intensidad, novedad o importancia (Beck & Kastner, 2009; Desimone & Duncan, 1995; Escera et al., 2000; Ruiz-Contreras & Cansino, 2005; Smith & Kosslyn, 2008).

El mecanismo *bottom-up* da cuenta de la influencia del procesamiento sensorial sobre la memoria de trabajo y se ve reflejado en la distracción provocada por la captura involuntaria de la atención (Berti et al., 2004). El mecanismo *bottom-up* está relacionado con tres regiones corticales: la corteza parietal posterior inferior, la unión temporoparietal y la corteza prefrontal, las cuales en conjunto constituyen el sistema parietal-frontal (Ruiz-Contreras & Cansino, 2005). La región parietal posterior y temporoparietal se activan cuando se detecta en el contexto la presencia de estímulos novedosos (Ruiz-Contreras & Cansino, 2005). La región frontal ventral dirige la atención hacia los estímulos novedosos relevantes (Ruiz-Contreras & Cansino, 2005; Wintink, Segalowitz, & Cudmore, 2001). Este mecanismo permite atender estímulos que no eran relevantes en un principio, y que resultan importantes para mantener el bienestar del organismo (Escera & Corral, 2003; Horváth et al., 2009).

## **2.2. Modelo de Tres Fases de la Atención Involuntaria (Distracción)**

La interacción entre la atención captada por eventos inesperados (distracción) y los procesos de control que dirigen la atención y la conducta de manera voluntaria se describe en el modelo de las tres fases de la atención involuntaria (Horváth et al., 2009; Solís-Vivanco et al., 2009).

La primera fase está constituida por procesos automáticos o inconscientes que monitorean de manera continua el medio para crear un “modelo sensorial” (Horváth et al., 2009; Horváth et al., 2008). Este modelo se genera extrayendo las regularidades de la estimulación reciente y el monitoreo se encarga de detectar si existen discrepancias entre la información que está siendo percibida y el modelo que ya se ha creado (Berti & Schröger, 2003; Munka & Berti, 2006; Solís-Vivanco et al., 2009). Estas dos acciones representan una eficiente distribución de recursos, pues minimiza la demanda sobre la limitada capacidad de los procesos de control manteniendo configuraciones relativamente estables de la estimulación del medio (Horváth et al., 2009). Los pequeños cambios que pudieran presentarse generan actualizaciones automáticas del modelo (Horváth et al., 2009; Horváth et al., 2008).

Cuando las discrepancias son más grandes o relevantes generan una respuesta de los procesos exógenos, los cuales cambian la dirección de la atención, dando lugar a la segunda etapa (Horváth et al., 2009; Horváth et al., 2008). Estos cambios constituyen una distracción, es decir, un cambio de la dirección de la atención que pasa de estar en la información que es relevante para la tarea que se está llevando a cabo a otros datos o estímulos que no lo son, permitiendo entonces un procesamiento ulterior de la información distractora (Horváth et al., 2009; Munka & Berti, 2006; Solís-Vivanco et al., 2009).

Finalmente, la tercera etapa de este modelo está constituida por el regreso voluntario de la atención a la información relevante para la tarea que se está llevando a cabo, y ocurre siempre y cuando la tarea aún sea importante después de la evaluación de la información distractora (Horváth et al., 2009; Horváth et al., 2008; Munka & Berti, 2006; Solís-Vivanco et al., 2009).

### **2.3. Electrofisiología de la Atención Involuntaria**

La investigación experimental y clínica se ha valido de diversas técnicas para estudiar la atención, una de ellas es la de los Potenciales Relacionados con Eventos (PRE). Esta técnica permite describir la atención y otras funciones cognitivas en términos electrofisiológicos, y cuenta con dos grandes ventajas: a) una gran resolución temporal (en el orden de milisegundos (ms)) y b) su carácter no invasivo (Escera, 2002; Fabiani, Gratton & Federmeier, 2007; Gomarús et al., 2006; Meneses Ortega, 2006; Nuñez-Peña, Corral & Escera, 2004; Sussman et al., 2003).

Los PRE son fluctuaciones de bajo voltaje (de 0.1-20  $\mu$ V) de la actividad eléctrica cerebral, los cuales se extraen del registro electroencefalográfico (EEG) (Escera, 2002; Luck, Woodman & Vogel, 2000; Nuñez-Peña et al., 2004; Solís-Vivanco et al., 2009) y que se observan cuando se presenta un estímulo sensorial o cuando ocurre algún evento sensorial, motor o cognitivo, ya sea que se ubique en el medio externo o interno del sujeto (Berti & Schröger, 2001; Escera, 2002; Gomarús et al., 2006; Meneses Ortega, 2006; Nuñez-Peña et al., 2004). Estas fluctuaciones son generadas por poblaciones neuronales que se activan de manera sincrónica, preparándose para responder o en respuesta a estímulos externos o procesos internos (Escera, 2002; Fabiani et al., 2007). Esta actividad puede ser registrada en la superficie del cuero cabelludo, ya que el tejido que se encuentra entre la fuente generadora y el cuero cabelludo actúa como conductor (Fabiani et al., 2007; Luck et al., 2000).

Para obtener los PRE, el EEG se divide en varias ventanas de determinada duración, denominadas épocas, en las cuales está presente el respectivo evento de interés, y que son sometidas posteriormente a promediación (Escera, 2002; Fabiani et al., 2007; Luck et al., 2000; Nuñez-Peña et al., 2004). El promedio permitirá aislar la actividad que está relacionada con la estimulación experimental (actividad frecuente) del resto de la actividad eléctrica (actividad infrecuente o ruido), obteniendo así un PRE (Figura 1) (Escera, 2002; Fabiani et al., 2007; Luck et al., 2000; Nuñez-Peña et al., 2004; Solís-Vivanco et al., 2009).

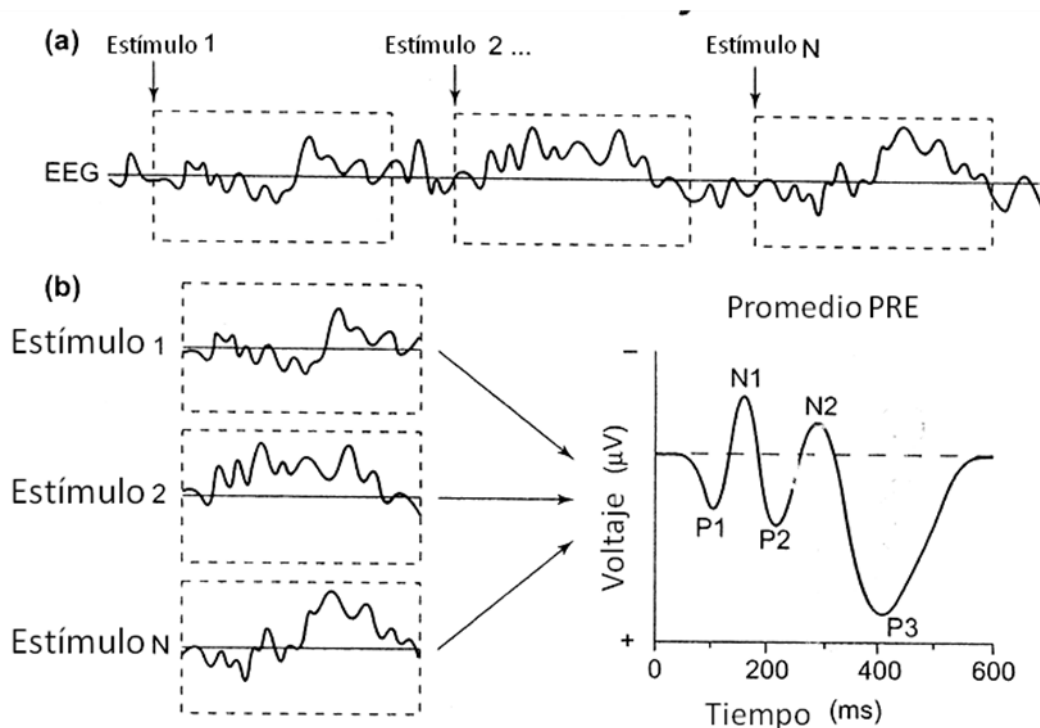


Figura 1. Esquema de la obtención de un Potencial Relacionado con Evento. A) Se observa cómo el estímulo genera actividad eléctrica cerebral, la cual es captada durante el registro electroencefalográfico, pero está enmascarada por actividad adicional ruidosa. B) Por ello se realiza el proceso de promediado de la actividad relacionada al evento y de esta manera se aísla la actividad de interés, obteniendo el componente deseado. (Tomado de Luck et al., 2000).

Los PRE muestran varias características (latencia y amplitud) (Figura 2) que sirven para denominarlos y clasificarlos, así como para determinar sus implicaciones funcionales, las cuales están vinculadas con las estimulaciones y tareas que se utilizaron para generarlos (Escera, 2002).

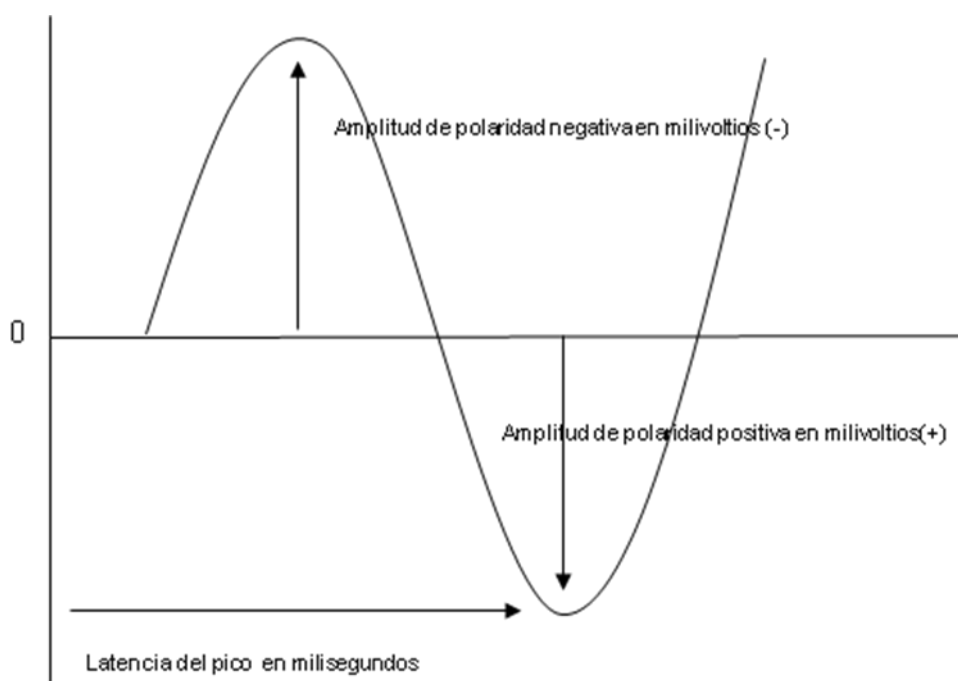


Figura 2. Ejemplo de una fluctuación eléctrica (PRE) en donde se señalan sus amplitudes y latencias.

Una de las primeras características que se distinguen visualmente en los PRE son una serie de picos de polaridad positiva o negativa, los cuales tienen diferentes tamaños, y que permiten evaluar a los PRE en términos de *amplitud*, que es la medida en microvoltios ( $\mu\text{V}$ ) que se da con respecto al nivel del voltaje de un pre-evento, una línea base o algún otro pico en los PRE (Figura 3) (Fabiani et al., 2007; Nuñez-Peña et al., 2004; Polich, 2007). La amplitud respecto a una línea base se obtiene determinando la diferencia de voltaje (en  $\mu\text{V}$ ) entre el punto donde se ubica el pico y el nivel base<sup>1</sup> (Polich, 2007); mientras que la amplitud respecto a un pico se determina estableciendo la diferencia de voltaje (en  $\mu\text{V}$ ) entre el punto donde se ubica el pico y el punto donde se ubique el pico previo de polaridad opuesta (Fabiani et al., 2007).

<sup>1</sup> La línea o nivel base es usualmente el promedio del nivel de voltaje previo a la presentación del estímulo (Fabiani et al., 2007)

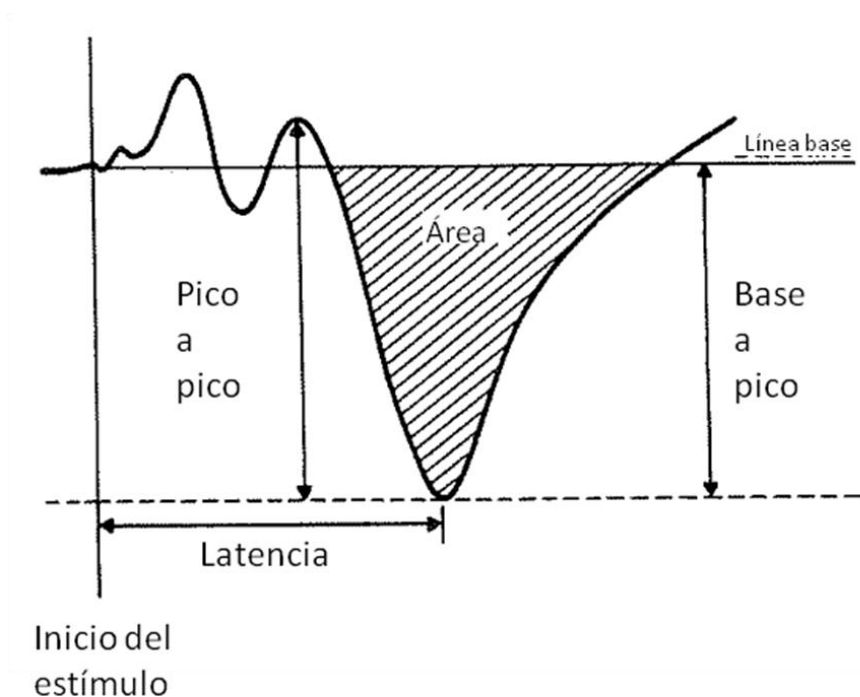


Figura 3. Esquema de Potencial Relacionado con Evento, en donde se observan la latencia medida desde el inicio del estímulo hasta la aparición del pico, la amplitud medida con respecto a una línea base y la amplitud medida con respecto a un pico previo. (Semimodificado de Fabiani et al., 2007).

Estos picos se denominan de acuerdo a su *polaridad* (Figura 1 y 2) con una P si es positiva y con una N al ser negativa (Escera, 2002; Luck et al., 2000; Nuñez-Peña et al., 2004). Después se determina en qué momento se sitúa ese pico, lo que se conoce como la *latencia*, ésta se define como el tiempo en milisegundos desde la presentación del suceso o estímulo hasta la aparición del pico o valle (máxima o mínima amplitud) (Escera, 2002; Fabiani et al., 2007; Nuñez-Peña et al., 2004; Polich, 2007). Estas dos características, polaridad y latencia, determinan, junto con el evento al que están asociadas, el nombre de los *componentes* presentes en un PRE, entendiéndose como *componente* los segmentos de onda de PRE que covarían en respuesta a la manipulación experimental a través de los sujetos, de las condiciones y de la localización en el cuero cabelludo, por lo que se puede decir que un PRE es un conjunto de componentes (Fabiani et al., 2007; Nuñez-Peña et al., 2004). Es así que, como ejemplos, un componente que aparece aproximadamente a los 300 milisegundos, de polaridad positiva es denominado P300, mientras que un componente de polaridad negativa asociado con la reorientación de la atención



después de una distracción se denomina *negatividad de reorientación* RON (Reorienting Negativity) (Escera, 2002; Nuñez-Peña et al., 2004). Cada uno de los componentes observados en un PRE tienen una localización diferente a la cual se le llama *distribución topográfica*, que se refiere a la ubicación de la actividad eléctrica en el cuero cabelludo (Nuñez-Peña et al., 2004).

Los PRE se clasifican en a) *sensoriales o exógenos*, cuya morfología está determinada por las características físicas de los estímulos y son de latencia más corta; y b) *cognitivos o endógenos*, los cuales son más tardíos y dependen de la naturaleza de la interacción entre el sujeto y el evento, por ejemplo la tarea asignada al sujeto o la estrategia de procesamiento (Escera, 2002; Fabiani et al., 2007; Nuñez-Peña et al., 2004).

Los PRE sensoriales son respuestas del sistema nervioso a estimulación de alta frecuencia o a estímulos transitorios, varían según la modalidad sensorial de presentación y se generan siempre que el sistema sensorial se encuentre intacto (Fabiani et al., 2007; Nuñez-Peña et al., 2004). Estos PRE reflejan la actividad de las vías sensoriales, las cuales transmiten la señal hacia los sistemas de procesamiento central desde los receptores periféricos. En la clínica, los PRE sensoriales contribuyen con el diagnóstico de ciertas enfermedades neurológicas o problemas en los sistemas sensoriales (Fabiani et al., 2007; Nuñez-Peña et al., 2004).

Por su parte, los PRE cognitivos o endógenos han sido ocupados ampliamente en las investigaciones de los procesos psicológicos, pues su aparición está relacionada con el suceso o estimulación experimental que el investigador es capaz de manipular, por lo que las diferencias en la amplitud y la latencia de estos PRE pueden usarse para hacer inferencias acerca del tiempo y la naturaleza del procesamiento cognitivo (Berti & Schröger, 2001; Luck et al., 2000; Nuñez-Peña et al., 2004; Solís-Vivanco et al., 2009).

La atención involuntaria es uno de los procesos que ha sido investigado mediante PRE a través del uso de un paradigma experimental auditivo *oddball*<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Tarea conformada por estímulos, auditivos o visuales, típicos (frecuentes, de alta probabilidad de aparición) y por estímulos discrepantes, que difieren en alguna característica física de los estímulos típicos (infrecuentes, de baja probabilidad de

modificado (Berti et al., 2004; Berti & Schröger, 2001; Berti & Schröger, 2003; Horváth et al., 2009; Roeber, Widmann & Schröger, 2003; Schröger & Wolff, 1998), con el cual se ha descrito la dinámica espacio-temporal de activación del circuito cerebral encargado del control exógeno o involuntario de la atención o distracción (Escera, 2002; Escera et al., 2000; Escera & Corral, 2003; Escera et al., 2001). Este paradigma cuenta con dos grandes ventajas: la primera es que con pequeños cambios se obtiene un efecto distractor confiable, el cual es indicado electrofisiológicamente por la aparición del potencial trifásico de distracción (descrito más adelante) y conductualmente por un deterioro en la ejecución de la tarea principal (Berti et al., 2004; Escera et al., 2000; Escera & Corral, 2003; Schröger, Giard & Wolff, 2000); la segunda es que al tratarse de una tarea en que las características relevantes e irrelevantes son de la misma modalidad sensorial (auditivas), se puede estimar mejor el efecto distractor y evitar un efecto sensorial combinado (Escera et al., 2000; Schröger et al., 2000; Solís-Vivanco et al., 2009).

Este paradigma (Figura 4) consiste en la presentación de una serie de tonos que difieren en duración, característica relevante a la que los sujetos deben atender y dar una respuesta. Algunos de los tonos presentados están modificados en su frecuencia (Hz), característica a la que los sujetos no deben prestar atención y que constituye la información irrelevante y distractora (Berti et al., 2004; Berti & Schröger, 2001; Escera, 2002; Escera et al., 2000; Roeber et al., 2003; Schröger et al., 2000; Schröger & Wolff, 1998).

---

aparición) (Horváth et al., 2009; Polich, 2007; Schröger & Wolff, 1998; Solís-Vivanco et al., 2009).

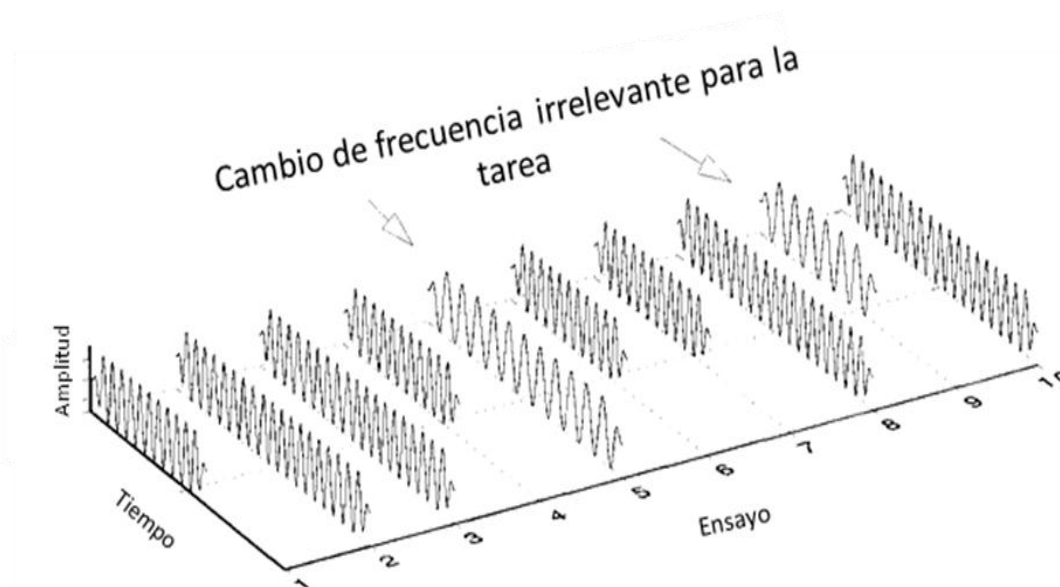


Figura 4. Esquema de un paradigma de distracción auditiva, donde se pueden observar el número de ensayos que realizan los participantes, el tiempo de duración y la amplitud de cada estímulo. En este paradigma los sujetos deben discriminar la duración de los tonos (corto o largo), siendo ésta la característica relevante (presentados equiprobablemente) e ignorar la característica irrelevante, que es la frecuencia (Hz). (Semimodificado de Schröger & Wolff, 1998).

Debido a que la actividad generada por la información distractora se enmascara con la actividad generada por el procesamiento auditivo y por la actividad de la tarea principal, para obtenerla es necesario restar la actividad generada por los estímulos que no estaban modificados en su frecuencia (frecuentes) de la actividad generada por los estímulos que sí estaban modificados en su frecuencia (infrecuentes). Es así que se obtiene el *potencial trifásico de distracción* (Figura 5), constituido por tres componentes: *MMN*, *P3a* y *RON*, los cuales están relacionados respectivamente con las tres fases de la atención involuntaria: monitoreo y detección de cambios en el modelo sensorial, orientación de la atención hacia un estímulo o información novedosa, y reorientación de la atención hacia la tarea principal después de una distracción momentánea (Berti et al., 2004; Berti & Schröger, 2001; Berti & Schröger, 2003; Escera, 2002; Escera & Corral, 2003; Horváth et al., 2009; Sussman et al., 2003). La aparición de este potencial es independiente de la característica física del estímulo auditivo utilizado como distractor (Horváth et al., 2009; Solís-Vivanco et al., 2009) y de la modalidad sensorial del estímulo relevante (Solís-Vivanco et al., 2009).

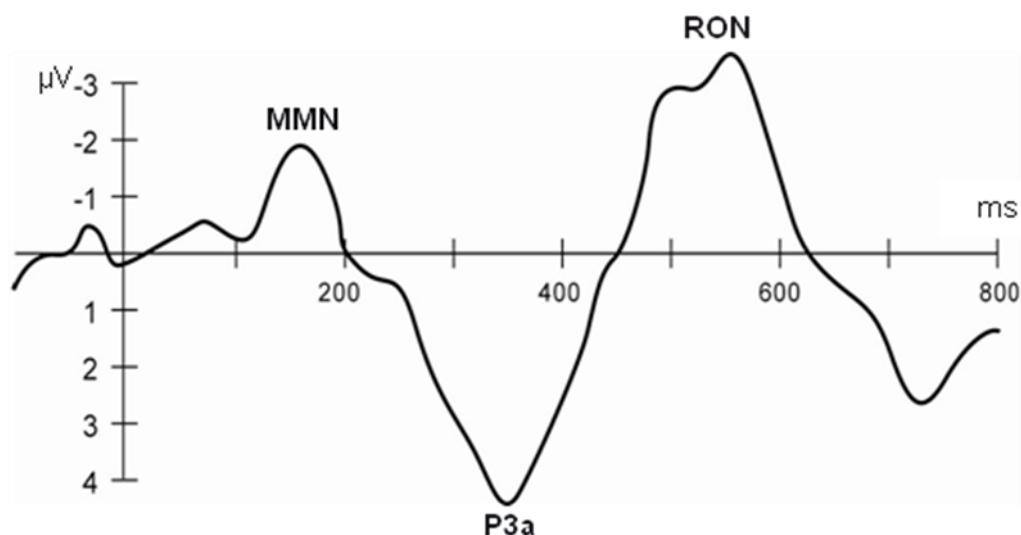


Figura 5. *Potencial trifásico de distracción*, donde se observan los tres componentes que lo conforman: MMN, P3a y RON. (Tomado de Solís-Vivanco et al., 2009).

El primer componente en aparecer es la Negatividad de Disparidad (*MMN*, por sus siglas en inglés, *Mismatch Negativity*), el cual aparece entre los 100 y los 250 ms, de distribución frontocentral y de polaridad negativa (Berti, 2008; Berti et al., 2004; Fabiani et al., 2007; Horváth et al., 2009; Kujala, Tervaniemi & Schröger, 2007; Nuñez-Peña et al., 2004; Schröger et al., 2000; Schröger & Wolff, 1998). La MMN se ha estudiado con paradigmas *auditivos de tipo oddball pasivos*<sup>3</sup> y para obtenerlo es necesario realizar una sustracción de los estímulos frecuentes de alta probabilidad de aparición de los estímulos infrecuentes de baja probabilidad de aparición (Escera, 2002; Fabiani et al., 2007; Horváth et al., 2009; Nuñez-Peña et al., 2004; Schröger et al., 2000).

La MMN aparece en presencia de un estímulo auditivo discrepante en alguna de sus características físicas con respecto a una estimulación repetitiva, ocurriendo así un cambio en el contexto sensorial o huella de memoria que debió crearse previamente (Berti & Schröger, 2003; Escera & Corral, 2003; Fabiani et al., 2007; Kujala et al., 2007; Meneses Ortega, 2006; Nuñez-Peña et al., 2004; Sussman et al., 2003). Por tanto, se habla de que este componente

<sup>3</sup> Esta tarea está conformada por los mismos estímulos (frecuentes e infrecuentes), pero el sujeto no debe responder a ninguno, ya que su atención está enfocada en otra tarea completamente independiente, como una lectura o un videojuego (Escera, 2002; Fabiani et al., 2007)

es el reflejo de la “detección de disparidad”, y puesto que se obtiene en condiciones pasivas en donde no se requiere que los sujetos ejecuten una respuesta o atiendan a la tarea, se relaciona con un proceso automático y pre-atentivo de memoria auditiva sensorial (Fabiani et al., 2007; Horváth et al., 2009; Munka & Berti, 2006; Restuccia, Della Marca, Marra & Massimiliano Valeriani, 2005; San-Miguel et al., 2008).

La presencia de la MMN indica que las discrepancias en el contexto auditivo se detectan aún cuando están fuera del foco de la atención, por lo que pudiera representar un filtro de atención y estar relacionado con la dirección pasiva (*bottom-up*) de la atención (Escera et al., 2000). Si el intervalo inter-estímulo es demasiado largo, el trazo de memoria de cada estímulo se disipa por la presentación del estímulo siguiente, impidiendo así la generación de MMN (Näätänen, Paavilainen, Rinne & Alho, 2007); esto posiblemente debido que largos periodos desvanecen la huella de memoria, mientras que la repetición de las características de un estímulo en una tarea auditiva mantiene su representación en la memoria de trabajo, permitiendo entonces detectar las discrepancias (Kujala et al., 2007).

Se ha propuesto que entre los generadores neurales de la MMN están la corteza auditiva primaria y las áreas inmediatamente adyacentes (Escera, 2002; Escera et al., 2000; Escera et al., 2001; Fabiani et al., 2007; Kujala et al., 2007; Näätänen et al., 2007; Nuñez-Peña et al., 2004; Schröger et al., 2000; Sussman et al., 2003), asociadas con la representación de la huella de memoria de las regularidades auditivas (Escera et al., 2000; Kujala et al., 2007). Otra región que se ha descrito como parte de los generadores neurales de este componente es el área prefrontal dorsolateral, cuya participación está relacionada, como se dijo antes, con el control involuntario de la atención, y se ha postulado que su activación es posterior a la de la corteza auditiva: primero se detecta la discrepancia auditiva y después viene el cambio de la atención (Escera, 2002; Escera et al., 2000; Kujala et al., 2007; Näätänen et al., 2007; Nielsen-Bohlman & Knight, 1999; Nuñez-Peña et al., 2004; Sussman et al., 2003). Los neurotransmisores dopamina y serotonina se han sugerido como los principales moduladores de este componente (Kujala et al., 2007; Näätänen et

al., 2007). Por último, su aparición se ve influenciada por la edad biológica, dado que su amplitud y latencia se muestran disminuidos en la vejez y en la infancia (Horváth et al., 2009; Solís-Vivanco et al., 2009; Wetzel, Widmann, Berti & Schröger, 2006).

Cabe señalar que no siempre ocurre la distracción o cambio de la atención, ya sea, entre otras causas, porque la demanda de la tarea es muy alta (Restuccia et al., 2005; Solís-Vivanco et al., 2009), porque ciertas sustancias, como el alcohol, disminuyan la sensibilidad de la detección de estos cambios o porque el sujeto puede predecir que ocurrirá una distracción (Solís-Vivanco et al., 2009).

El segundo componente del potencial trifásico de disparidad, correspondiente también a la segunda fase del modelo de atención involuntaria, es la P3a, que es la señal cerebral del cambio de la atención (Berti et al., 2004; Escera & Corral, 2003; Horváth et al., 2009; Kujala et al., 2007; Meneses Ortega, 2006; Munka & Berti, 2006; San-Miguel et al., 2008; Schröger & Wolff, 1998; Sussman et al., 2003). Este componente tiene una latencia de alrededor de los 250 a 350 ms, su distribución es frontocentral y tiene polaridad positiva (Fabiani et al., 2007; Herrmann & Knight, 2001; Horváth et al., 2009; Meneses Ortega, 2006; Nuñez-Peña et al., 2004; Schröger et al., 2000; Schröger & Wolff, 1998). Se genera ante la presentación de estímulos infrecuentes e inesperados dentro del contexto y de los cuales no hay memoria formada (Fabiani et al., 2007; Herrmann & Knight, 2001; Meneses Ortega, 2006; Nielsen-Bohlman & Knight, 1999; Nuñez-Peña et al., 2004; Polich, 2007; Solís-Vivanco et al., 2009), o por la aparición de un estímulo después de un largo silencio (Sussman et al., 2003), lo que crea una actualización del contexto sensorial (Polich, 2007). La presentación repetitiva del estímulo produce una disminución en su calidad de novedoso, provocando una disminución en la amplitud de la P3a (Polich, 2007; Solís-Vivanco et al., 2009).

La P3a consta de dos fases diferenciadas, la primera fase, que no es influenciada por las manipulaciones sobre la atención, es de latencia entre los 220 y los 320 ms, tiene una distribución bilateral central (Escera, 2002; Escera et al., 2000; Escera & Corral, 2003; Escera et al., 2001; Nuñez-Peña et al.,

2004; San-Miguel et al., 2008) y se ha sugerido que refleja las discrepancias con el modelo multimodal del contexto mantenido en la corteza de asociación temporo-parietal (Escera et al., 2000; Escera et al., 2001).

La segunda fase se presenta entre los 300 y 400 ms, es de distribución frontocentral derecha y muestra gran sensibilidad a las manipulaciones sobre la atención (Escera, 2002; Escera et al., 2000; Escera & Corral, 2003; Nuñez-Peña et al., 2004; San-Miguel et al., 2008), siendo propuesta esta segunda fase como el indicador de la orientación de la atención hacia estímulos distractores (Escera et al., 2000; Escera et al., 2001).

Se han asociado hasta cinco estructuras en la generación de la P3a: la primera es el giro anterior del cíngulo, que responde a los 160 ms de la presentación del sonido novedoso; a los 200 ms se activan la región temporo-parietal bilateral y la corteza fronto-temporal izquierda simultáneamente; por último, a los 300 ms la corteza parietal superior y frontal se activan paralelamente (Escera & Corral, 2003; Nielsen-Bohlman & Knight, 1999; Polich, 2007; Protzner, Cortese, Alain & McIntosh, 2009; Schröger et al., 2000). La P3a refleja el proceso de la segunda etapa del modelo de la atención involuntaria (Figura 6), la cual consiste en el cambio de la atención dirigida por mecanismos exógenos (Horváth et al., 2009).

Se ha propuesto una modulación dopaminérgica para este componente, pues su amplitud se ve disminuida en pacientes con enfermedad de Parkinson y en los niños con riesgo elevado de presentar alcoholismo, quienes, se sabe, muestran alteraciones genéticas en la producción de dopamina. Asimismo, la aplicación del antagonista dopaminérgico sulpirida produce modificaciones en su amplitud (Polich, 2007; Solís-Vivanco et al., 2009).

La latencia de P3a es menor en la infancia, mientras que en la vejez aumenta su latencia y disminuye su amplitud (Solís-Vivanco et al., 2009; Wetzel et al., 2006), además de que su distribución es más parietal en tareas demandantes, sugiriendo que los adultos mayores necesitan mayores recursos cognitivos para realizar el mismo nivel de ejecución que los adultos jóvenes (Horváth et al., 2009).

Finalmente, el componente de Negatividad de Reorientación (*RON*, por sus siglas en inglés, *Reorientation Negativity*) representa la señal neurofisiológica de retorno de la atención a la tarea original después de una distracción (Berti et al., 2004; Berti & Schröger, 2003; Escera, 2002; Escera & Corral, 2003; Munka & Berti, 2006; Roeber et al., 2003; San-Miguel et al., 2008; Sussman et al., 2003). Su latencia es de entre los 400 y 600 ms, tiene una distribución frontocentral y es de polaridad negativa (Berti, 2008; Berti et al., 2004; Horváth et al., 2009; Sussman et al., 2003). Se han descrito dos fases de este componente, las cuales reflejan diferentes procesos implicados en la reasignación de la atención: la fase *temprana*, que indica la reorientación de la atención hacia la información relevante para la tarea específica por parte de la memoria de trabajo, y una fase *tardía*, que indica una reorientación más general de la atención después de una distracción (Escera et al., 2001; Munka & Berti, 2006).

Se ha sugerido que son múltiples los generadores neurales de este componente y que posiblemente se encuentran localizados en el área frontal (Escera et al., 2000; Escera et al., 2001; Schröger & Wolff, 1998; Sussman et al., 2003), aunque no existen datos concluyentes al respecto.

Este componente sólo se presenta en las tareas donde los estímulos discrepantes actúan como distractores, pero no cuando se les pide a los sujetos que los atiendan o discriminen, cuando se trata de una tarea pasiva, ni en el caso de que los distractores puedan ser anticipados (Berti & Schröger, 2003; Escera, 2002; Escera & Corral, 2003; Horváth et al., 2009; Solís-Vivanco et al., 2009).

Diversos autores proponen que este componente negativo habla del proceso de control de la atención en el contexto de memoria de trabajo, posiblemente inhibiendo el procesamiento de la información irrelevante o priorizando el de la información relevante, teniendo así un importante rol en la selección y retención de esta última (Berti, 2008; Berti & Schröger, 2001; Munka & Berti, 2006; Schröger et al., 2000; Schröger & Wolff, 1998).



La RON constituye la tercera etapa del modelo de la atención involuntaria (Figura 6), es decir, el regreso de la atención a la tarea principal después de una distracción (Horváth et al., 2009).

Se ha sugerido una neuromodulación dopaminérgica para este componente, pues el consumo crónico de etanol disminuye su amplitud, además se han observado modificaciones en su amplitud con la administración del antagonista de dopamina haloperidol (Kähkönen, Ahveninen, Pekkonen, Kaakkola, Huttunen, Ilmoniemi & Jääskeläinen, 2002).

La amplitud de la RON aumenta con la edad, así como su latencia (Horváth et al., 2009).

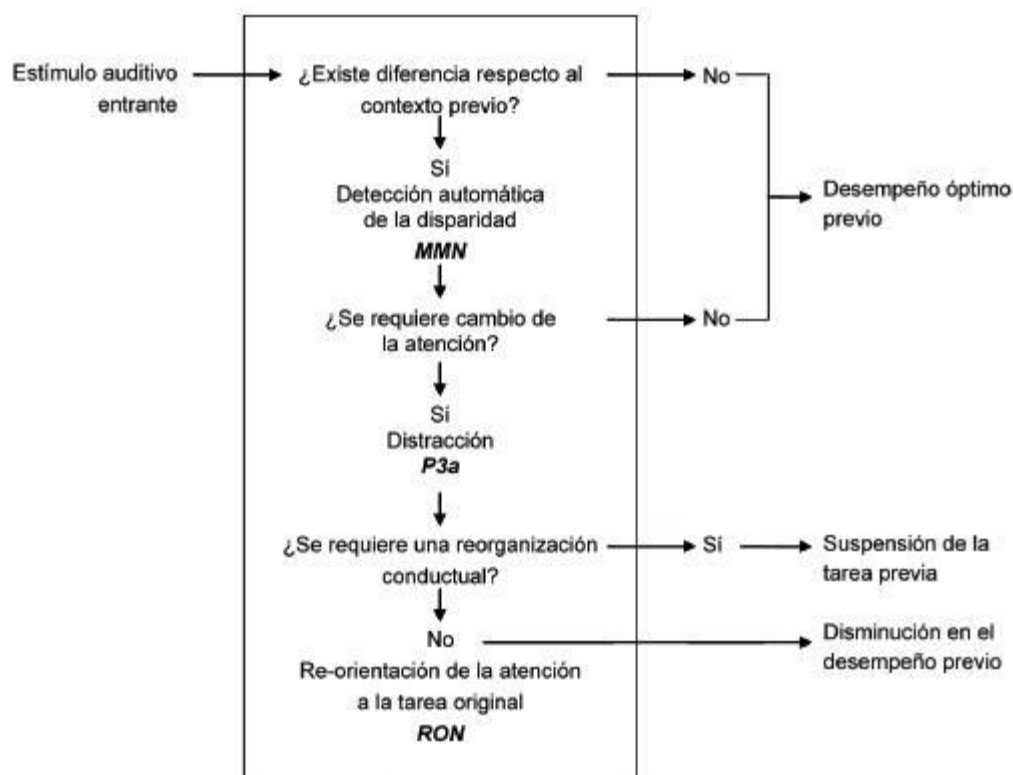


Figura 6. Esquema de la atención involuntaria y sus correlatos electrofisiológicos. (Tomado de Solís-Vivanco et al., 2009).

## 2.4. Estudios de atención involuntaria, memoria de trabajo y PRE

El equilibrio de los dos mecanismos de control de la atención resulta en un sistema nervioso funcional y adaptativo, pues si los procesos *top-down*

dominaran, no sería posible atender eventos potencialmente relevantes fuera del foco de atención, y si los *bottom-up* predominaran, la distracción ocurriría con gran facilidad, disminuyendo la eficiencia en la ejecución de tareas (Berti & Schröger, 2003; Escera et al., 2000; Horváth et al., 2008). Sin embargo, se debe hacer notar que el control *top-down* de la atención puede variar dependiendo de la carga o demanda cognitiva atribuida a la memoria de trabajo, y esta variación puede tener influencia sobre el equilibrio con los procesos *bottom-up*. Diversos estudios se han dado a la tarea de explicar el comportamiento de la atención involuntaria cuando la demanda de la tarea que se está ejecutando es alta o baja, dando un panorama de la interacción de los procesos de control *top-down* y *bottom-up*.

En el 2004 Lavie y sus colaboradores reportaron una serie de experimentos para determinar cuál era el efecto de la demanda cognitiva sobre la distracción. Los experimentos estaban conformados por diversos bloques presentados en la siguiente secuencia: primero se les presentaba a los sujetos en una pantalla de computadora un set de memoria de uno (nivel de demanda bajo de memoria de trabajo) o seis dígitos (nivel de demanda alto de memoria de trabajo), los cuales debían memorizar. Después de cada set seguía la presentación de la letra x o z, a la cual los sujetos debían responder apretando el 0 en el teclado si la letra que percibían era la z o la tecla 2 si se trataba de la letra x, al mismo tiempo se presentaban por encima o por debajo de la x o la z letras irrelevantes para la tarea. Se esperaba que estas letras interfirieran con el procesamiento de las letras z o x y así distrajeran a los sujetos. La presencia de estas letras irrelevantes fue anunciada a los participantes y se les dio la indicación de ignorarlas. Finalmente a los sujetos se les presentaba un dígito y debían indicar si el dígito que aparecía se había o no presentado en el set de memoria. Cada bloque constó de 72 ensayos. Estos autores (Lavie, Hirt, Fockert, & Vidding, 2004) concluyeron, mediante el análisis de las medidas conductuales (tiempo de reacción y porcentaje de errores), que mientras mayor sea la demanda de la memoria de trabajo mayor distracción se presentará en los sujetos, esto debido a la falta de recursos disponibles para modular el procesamiento de la información irrelevante. Aquí las conclusiones se basaron únicamente en las medidas conductuales, no determinaron si estos cambios se debían

precisamente a la demanda o a que el efecto distractor aumentaba. Cabe señalar que la información irrelevante era anunciada previamente, dando entonces expectativa a los sujetos de que algo que no debían atender aparecería. Esto pudo posiblemente conducir a un procesamiento diferente y por ello no ser necesariamente una distracción.

Yi, Woodman, Widders, Marois & Chun (2004) realizaron un experimento con Imagen por resonancia magnética funcional (IRMf) y una tarea de discriminación de caras. Las caras eran presentadas al centro de una pantalla con un fondo de escenas (las escenas podían ser nuevas o repetidas). Antes del inicio de cada bloque de ensayos se dio la instrucción de ignorar las imágenes que constituían el fondo sobre el que se encontraban las caras. La tarea de caras consistía en que los sujetos determinaran si la cara que estaban percibiendo se había presentado inmediatamente antes (condición de baja demanda, 1-Back) o si se había presentado dos lugares atrás (condición de alta demanda, 2-Back). Cada bloque estuvo conformado por 8 ensayos y los participantes completaron cinco rondas. Los autores determinaron que el procesamiento de la información irrelevante (las escenas de fondo nuevas) era mayor en la condición de alta demanda en memoria de trabajo (2-Back), ya que la zona parahipocampal, especializada en el procesamiento de escenas, se activó más en esta condición, por lo que concluyeron que el aumento de la demanda en memoria de trabajo no disminuye el procesamiento de la información irrelevante. Este estudio tiene el mismo problema que el de Lavie (2004), es decir la información irrelevante fue anticipada, por lo que no necesariamente constituye una distracción. Además las pocas diferencias en las condiciones no permiten determinar si una alta demanda disminuye el efecto de distracción o no.

En 2009 Rissman, Gazzaley & D'Esposito, llevaron a cabo una serie de tareas mientras se hacían IRMf a los participantes. La primera tarea consistía en identificar escenas o caras que hubieran aparecido inmediatamente antes (1-Back), lo cual sirvió para determinar las áreas de procesamiento de las caras y las escenas. En la segunda tarea los sujetos debían recordar caras, recordar escenas o mirar pasivamente las imágenes. Independientemente de la instrucción, la serie comenzaba con la presentación auditiva de 6 dígitos (para

la condición de alta demanda se presentaban aleatoriamente dígitos de 0 a 9 y para la condición de baja demanda los números eran “1, 2, 3, 4, 5, 6”) los cuales debían mantener y recordar. Después se mostraban 4 imágenes en escala de grises, dos eran caras y dos eran paisajes. Posteriormente se les mostraba una sola imagen y dependiendo de la instrucción dada al comienzo de la tarea, los sujetos debían determinar si la imagen (cara o paisaje) había aparecido o no dentro de las cuatro imágenes anteriores. Para la instrucción de mirar pasivamente, en vez de imágenes se les presentaba una flecha, y solo debían indicar en qué dirección apuntaba (derecha o izquierda). La serie finalizaba con la presentación visual de un dígito y los sujetos debían indicar si éste estaba o no presente en los números que escucharon al inicio de la tarea. En una tercera tarea se les presentaba, después de un periodo de descanso, una serie de 138 imágenes de paisajes que habían aparecido en la tarea anterior junto con 138 imágenes nuevas de paisajes. Los sujetos debían determinar, en una escala de 1 a 4, qué tan nueva o vieja era la imagen. Estos autores reportaron un deterioro en la ejecución de los participantes y una mayor activación, durante la condición de recordar caras/ignorar escenas, de las zonas responsables del procesamiento de la información irrelevante (escenas) durante la condición de alta demanda (para este estudio la corteza parahipocampal). Concluyeron que cuando se aumenta la demanda en una tarea de memoria de trabajo hay mayor dificultad para desenganchar o inhibir la atención de los estímulos irrelevantes para la tarea. Como sucedió en los estudios señalados previamente, en esta investigación la información irrelevante fue anunciada a los participantes, por lo que no puede considerarse como una distracción. La mayor activación de las regiones de interés solo sucedió cuando las escenas debían ser ignoradas, pero no en la condición de observación pasiva, en donde también las escenas eran información irrelevante.

Estas tres investigaciones apoyan la teoría de que cuanto mayor sea la demanda sobre las funciones de control cognitivo ejecutivo (como la memoria de trabajo), la distracción aumentará (Lavie, 2005). Sin embargo, esta aseveración no es completamente cierta, pues es posible que la anticipación de un evento evite que éste actúe como distractor, pues se ha visto que el

componente de reorientación de la atención (RON), indicador de que la atención está siendo dirigida hacia la tarea principal después de una distracción, no aparece cuando se sabe que habrá distractores. Esto es, el sistema se prepara para inhibir cualquier estimulación que no está relacionada con la tarea, pues se ha hecho la indicación de que aparecerá y que no es información relevante para la tarea. Es entonces que los estímulos potencialmente relevantes o distractores no necesariamente irrumpirán y cambiarán el foco de la atención, sólo serán detectados de manera automática por los procesos encargados de monitorear y modelar el contexto. Por tanto, es posible que el efecto que se describe en los estudios sea debido, más que a una distracción, al esfuerzo cognitivo por modular la información que se sabe aparecerá, y esto sí puede competir con concentrar el foco de atención en la tarea principal.

Otros autores han propuesto lo contrario, esto es, que cuanto mayor sea la demanda en la memoria de trabajo, la distracción será menor, observándose una modulación de tipo *top-down*.

Berti y Schröger (2003), realizaron un experimento con PRE de dos tareas auditivas en donde se evaluó cómo impacta la demanda en la memoria de trabajo sobre la distracción. Utilizaron el paradigma auditivo desarrollado por Schröger y Wolff (1998) para las condiciones de baja y alta demanda. En la primera condición los sujetos debían responder a la duración de los tonos, es decir, si el estímulo presentado era corto o largo. En la segunda condición los sujetos debían responder si el estímulo inmediatamente previo (1-Back) había sido corto o largo. Los estímulos que fueron modificados en su frecuencia constituyeron los estímulos infrecuentes distractores. Observando las medidas conductuales (tiempo de reacción y porcentaje de errores) y los componentes MMN, P3a y RON del potencial trifásico de distracción, estos autores determinaron que la distracción se veía atenuada en la condición de mayor demanda de memoria de trabajo, dado que durante ésta la ejecución se veía menos deteriorada y la amplitud de los componentes P3a y RON disminuía. En este estudio la diferencia en la demanda de memoria de trabajo de las tareas no es necesariamente significativa, por lo que la respuesta que se da en la

tarea donde se debía retrasar la respuesta es muy similar a la respuesta de la tarea en la que se debía determinar si el estímulo era corto o largo.

Munka y Berti (2006), realizaron dos experimentos con una tarea auditiva-visual, mientras registraban PRE, con el mismo objetivo que Berti y Schröger. El primer experimento consistía en la presentación visual de números con dos condiciones: la primera denominada *física*, en la cual los sujetos debían discriminar si el número que estaban observando era de tamaño grande o pequeño, y la segunda llamada *semántica*, en donde debían decidir si el número que estaban percibiendo era par o non. En ambas condiciones cada número estaba precedido por un tono que podía ser estándar o distractor, cada condición consistió en 10 bloques de 100 ensayos. El segundo experimento varió sólo en la condición física, en donde los participantes en vez de discriminar el tamaño del número, discriminaban su color (verde o rojo), por lo que, según los autores, era una condición de menor demanda. Los autores encontraron que los tiempos de reacción eran mayores en el primer experimento. En los dos experimentos, obtuvieron los tres componentes del potencial trifásico de distracción (MMN, P3a y RON), observando que la RON se bifurcaba, con una latencia temprana en la condición semántica y tardía en la condición física,. Determinaron que su estudio apoyaba la hipótesis de que la demanda de la tarea influía en el componente RON, así a mayor demanda en la tarea la distracción disminuía, tal como lo sugirieron Berti y Schröger en el 2003. Concluyeron que la RON representa dos procesos diferentes: la temprana (condición semántica) refleja una reorientación de la atención ante una tarea específica, por lo que implica el uso de memoria de trabajo, y la tardía (condición física) una reorientación “más general” de la atención después de una distracción. El estudio mostró una modulación de la demanda de tipo *top-down* sobre el componente de reorientación de la atención (RON), cuya amplitud aumentó en la condición semántica. Los autores no precisaron un efecto claro de la demanda sobre el efecto distractor, ya que la amplitud de P3a fue menor en el experimento 2, el cual tuvo una menor demanda.

Finalmente, San-Miguel Corral, & Escera (2008) utilizaron una tarea auditivo-visual con dos condiciones, que consistía en la presentación visual de 250 pares de números, mientras escuchaban sonidos distractores que podían ser

de taladro, martillo, teléfono, etc. La primera condición era de bajo nivel de demanda y se les pidió a los sujetos que determinaran si el par que estaban percibiendo contenían o no los mismos dígitos (p. ej. 1-1 iguales, 1-2 diferentes). En la segunda condición, de alto nivel de demanda, los sujetos debían decidir si del par de números, el situado a la izquierda era igual al que se encontraba en la misma posición pero del par anterior (1-Back). Los autores encontraron que la ejecución se veía menos afectada en la tarea de mayor demanda, además la amplitud de la P3a disminuía y la de RON aumentaba en comparación con la tarea de menor demanda, por lo que la distracción era menos probable. Esto pudo deberse a mecanismos que mantenían la atención centrada en los estímulos relevantes, y así lograr ejecutar la actividad de mayor grado de dificultad. En este estudio las diferencias en cuanto a dificultad de la tarea son “menor” y “mayor” demanda, sin ser claros en si se trata de extremos de dificultad, en cuyo caso (al igual que en el estudio de Berti y Schröger, 2003), no se exploró el efecto de los niveles “intermedios” de demanda para la memoria de trabajo.

Los resultados de estos estudios resultan controvertidos y dejan el marco abierto a futuras investigaciones, en las cuales se describa qué es lo que sucede con la atención involuntaria durante tareas con niveles de demanda de dificultad progresivamente creciente, en donde los estímulos distractores no sean anticipados, y que identifiquen en qué fase de la atención involuntaria se da el principal efecto de modulación *top-down*.

### III. MÉTODO

#### 3.1. Justificación

Este trabajo busca describir el fenómeno cotidiano de la modulación de la atención involuntaria por mecanismos *top-down* y *bottom-up*. Sus aportaciones se muestran en dos niveles:

- a) A nivel teórico: Contribuirá a ampliar el conocimiento acerca del comportamiento de la atención involuntaria ante un aumento progresivo de demanda para la memoria de trabajo y en presencia de estímulos distractores, complementando lo reportado en estudios anteriores y que permitirá ampliar la información neurofisiológica existente (y hasta ahora controversial) acerca del fenómeno de la distracción.
- b) A nivel metodológico: Este estudio aportará un nuevo paradigma experimental, que podrá utilizarse en futuros estudios con poblaciones normales o clínicas para profundizar en el estudio de la atención involuntaria y sus mecanismos de modulación, con las ventajas de una gran resolución temporal e invasividad nula.

#### 3.2. Planteamiento del Problema

La atención involuntaria y la memoria de trabajo son dos procesos cognitivos inherentes y necesarios para un eficaz procesamiento de aquella información que es importante (relevante) respecto de aquella que no lo es (irrelevante/distractora). Cuando el sistema nervioso central se encuentra en un ambiente lleno de estímulos que no pueden ser eliminados y que resultan irrelevantes para llevar a cabo una tarea determinada que implica la participación de la memoria de trabajo, requiere de un sistema o sistemas que modulen la entrada de información para disminuir la interferencia de esta información irrelevante, manteniendo al mismo tiempo la flexibilidad necesaria para cambiar el foco de atención hacia esta en caso de que represente una amenaza para la integridad del organismo. Sin embargo, ¿qué sucede cuando el sistema nervioso central, en este ambiente con distractores, es sometido a



un aumento progresivo de demanda de memoria de trabajo? ¿La distracción aumentará o disminuirá? ¿Cómo se verá afectado el desempeño de la tarea principal?

### **3.3. Objetivos**

#### *Objetivo General*

Efectos de la demanda progresiva en memoria de trabajo sobre la atención involuntaria medidos mediante potenciales relacionados con eventos y datos conductuales.

#### *Objetivos Particulares*

- 1) Comparar las amplitudes y latencias de los componentes MMN, P3a y RON entre tres niveles progresivos de demanda cognitiva en una tarea de memoria de trabajo.
- 2) Comparar los tiempos de reacción y porcentaje de errores entre tres niveles progresivos de demanda cognitiva en una tarea de memoria de trabajo.

### **3.4. Hipótesis**

- 1) La amplitud y/o latencia del componente MMN no cambiará en función de la demanda cognitiva en una tarea de memoria de trabajo.
- 2) La amplitud y/o latencia del componente P3a disminuirá significativamente en función de la demanda cognitiva en una tarea de memoria de trabajo.
- 3) La amplitud y/o latencia del componente RON no cambiará en función de la demanda cognitiva en una tarea de memoria de trabajo.

- 4) Los tiempos de reacción y/o el porcentaje de errores aumentarán significativamente en función de la demanda cognitiva en una tarea de memoria de trabajo.

### **3.5. Definición de Variables**

#### *3.5.1. Variables Independientes*

Memoria de trabajo

Definición Conceptual: Sistema cognitivo que almacena la información de manera temporal, permite manipularla y representa un importante vínculo entre la percepción y el control de la acción (Baddeley, 1998).

Definición Operacional: Tarea de memoria de trabajo N-Back, con tres niveles de demanda progresiva (1-Back, 2-Back y 3-Back).

#### *3.5.2. Variables Dependientes*

Atención Involuntaria

Definición Conceptual: Atención capturada por estímulos novedosos, intensos y/o inesperados; está compuesta por tres procesos cognitivos: a) detección de disparidad de acuerdo a un contexto sensorial o memoria previa, b) captura atencional automática hacia la información novedosa y c) reorientación de la atención a la tarea principal después de una distracción momentánea (Horváth et al., 2009; Solís-Vivanco et al., 2009) .

Definición Operacional: Amplitudes medias y latencias de los componentes MMN, P3a y RON, así como tiempos de reacción y porcentajes de error ante estímulos distractores.

### **3.6. Participantes**

La muestra estuvo conformada por 20 sujetos universitarios, 12 mujeres y 8 hombres con un rango de edad de 18 a 25 años. Todos contaban con audición

normal, la cual fue reportada por los sujetos. Para poder participar en el estudio se debía brindar consentimiento informado y obtener una puntuación normal en las pruebas de Retención de dígitos (en regresión y progresión) y Cubos de Corsi (en regresión y progresión), respecto al rango de edades de 16 a 30 años y rango de escolaridad de 10 a 22 años (Ostrosky-Solís, Gómez, Matute, Rosselli, Ardila & Pineda, 2003), ya que si los participantes no contaban con un rango normal, el número de ítems que podían retener en la memoria de trabajo no era suficiente para realizar las tareas de N-back. Los criterios de exclusión que se consideraron fueron contar con diagnóstico de trastorno neurológico o psiquiátrico y consumir psicofármacos o drogas de abuso durante los 3 meses previos al estudio. Los criterios de eliminación fueron el abandono del estudio por parte del sujeto y/o presentar un registro electroencefalográfico con demasiado artefacto que impidiera su análisis posterior.

### **3.7. Instrumentos**

#### *3.7.1. Condiciones experimentales y estímulos*

La tarea diseñada para este estudio combinó el paradigma auditivo-auditivo de atención involuntaria bien establecido en estudios anteriores (Berti & Schröger, 2001; Escera, 2002; Roeber et al., 2003; Schröger et al., 2000; Schröger & Wolff, 1998) con la tarea N-Back, ampliamente utilizada en estudios de memoria de trabajo (Chen et al., 2008; Kane, Conway, Miura & Colflesh, 2007; San-Miguel et al., 2008; Smith & Kosslyn, 2008). Las tres tareas serán descritas a continuación.

**1- Paradigma auditivo de atención involuntaria.** En la tarea de atención involuntaria se presenta a los sujetos una serie de tonos de 1000 Hz (90% de los casos), los cuales deben ser clasificados por su duración (cortos, 200 ms, o largos, 400 ms) y a los cuales se responde de manera selectiva (ej. botón 1 para estímulos cortos, botón 2 para estímulos largos). Estos estímulos se denominan estímulos frecuentes (EF). Adicionalmente, y de manera pseudoaleatoria (pues entre dos estímulos target infrecuentes siempre debe haber por lo menos dos estímulos no target), se presentan algunos estímulos

cortos (50%) o largos (50%) con cambios en frecuencia ( $\pm 10$  Hz aprox.) Estos estímulos (10% de los casos), que igualmente deben ser clasificados por duración, pero que presentan una característica irrelevante o distractora, se denominan Estímulos infrecuentes (EI) (Figura 7).

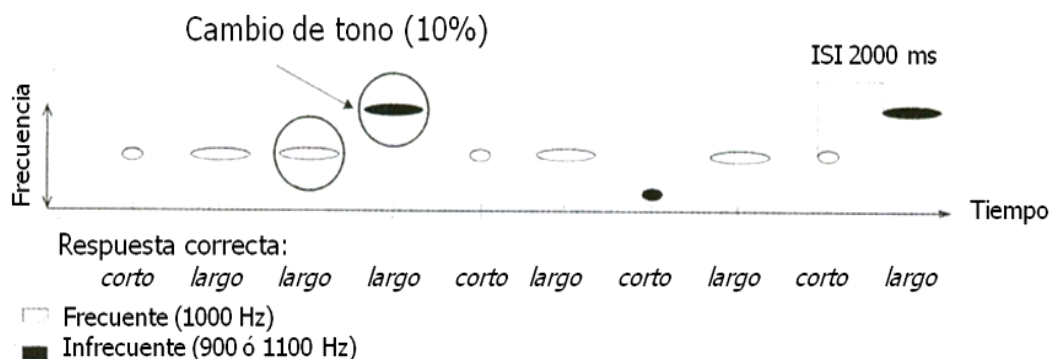


Figura 7. Paradigma experimental auditivo-auditivo de atención involuntaria. Se presenta la característica relevante para la tarea, la duración del tono (corto-largo), a la cual los sujetos deben responder, y la característica irrelevante para la tarea, es decir, el cambio en frecuencia ( $\pm 10$  Hz).

**2.-Tarea de memoria de trabajo *N-back*.** La tarea de memoria de trabajo *N-back* consiste en la presentación auditiva de una serie de estímulos (letras, números, colores, etc.) a los sujetos, quienes deben determinar si el estímulo que están percibiendo se había presentado *N* veces antes. Por ejemplo, en el nivel 2-Back, los sujetos deben decidir si el estímulo que perciben se ha presentado 2 lugares antes. Así, los estímulos que cumplan la condición de haberse presentado *N* veces antes serán los estímulos blanco o *target*, y los estímulos que no cumplan dicha condición serán estímulos no-blanco o *no-target*. La Figura 8 presenta un ejemplo de la tarea *N-Back*, en nivel 2 y modalidad auditiva.

|                       |           |           |           |        |           |           |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|
|                       | LILA      | ROJO      | VERDE     | ROJO   | PARDO     | AZUL      |
| RESPUESTA<br>CORRECTA | NO-TARGET | NO-TARGET | NO-TARGET | TARGET | NO-TARGET | NO-TARGET |

Figura 8. Ejemplo de tarea 2-Back. Se observa que el color rojo es el estímulo target, el cual se había presentado dos lugares atrás.

**3.- Paradigma que se utilizó en la investigación, resultado de la fusión del paradigma auditivo de atención involuntaria y la tarea *N-back*.** El paradigma resultante para este estudio fue una tarea N-Back de memoria de trabajo en modalidad auditiva con distracción (Figura 9), con tres niveles progresivos de demanda: 1-Back, 2-Back y 3-Back, y diseñada con el programa Stim2 (Neuroscan Inc.). Cada nivel o condición consistió en la presentación por vía auditiva de 13 nombres de colores de dos sílabas para el idioma español (“rojo”, “azul”, “verde”, “lila”, “rosa”, “sepia”, “bronce”, “plata”, “oro”, “negro”, “café”, “pardo” y “blanco”), con una duración de 800 ms en promedio, emitidos por una voz femenina y presentados binauralmente con un volumen de 75 dB a través de audífonos. Cada color se presentó de manera aleatoria en 69 ocasiones. Éstos fueron los estímulos frecuentes (EF). Adicionalmente, se generaron estímulos infrecuentes o distractores (EI) alterando el tono de todos los EF por medio del programa Roxio Easy Media Creator 10, dentro de la ventana de edición del subprograma Sound Editor 10. Las modificaciones se llevaron a cabo en unidades de tono, generando distorsiones graves bajando 7 tonos y agudas aumentando 7 tonos (escala que esta predeterminada en el programa). Estas modificaciones de tono constituyeron la dimensión irrelevante para la tarea, mientras que la dimensión relevante fue la respuesta a si el estímulo se había presentado N veces atrás. Cada nombre de color, en su modalidad frecuente e infrecuente, se presentó el mismo número de veces en cada condición (Figura 9).



Figura 9. Ejemplo del paradigma que se utilizó (en este caso 2-Back) de memoria de trabajo en modalidad auditiva con distracción. Se observan los estímulos a los que se debe contestar (target) y a los que no se debe responder (no-target), también los estímulos que son distractores (infrecuentes).

Como resultado, cada condición constituyó un paradigma *oddball* modificado de 900 estímulos, con cuatro tipos de estímulos: Estímulos *target* frecuentes (ETF), estímulos *target* distractores (ETI), estímulos no *target* frecuentes (ENTF) y estímulos no *target* no distractores (ENTI) (Tabla 2).

Tabla 2. Tipos de estímulos y distribución de cada uno, por condición, para la tarea N-Back.

| ESTÍMULOS POR<br>CONDICIÓN N-BACK<br>N=900 | TARGET (T)                     |                              | NO-TARGET (NT)                 |                               |
|--|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|  | 40%<br>N=360<br>DE LOS CUALES: |                              | 60%<br>N=540<br>DE LOS CUALES: |                               |
|  | DISTRACTORES<br>(ETI)          | NO-<br>DISTRACTORES<br>(ETF) | DISTRACTORES<br>(ENTI)         | NO-<br>DISTRACTORES<br>(ENTF) |
|  | 20%<br>N=72                    | 80%<br>N=288                 | 20%<br>N=108                   | 80%<br>N=432                  |

Antes de cada condición se realizó un ensayo con 30 estímulos frecuentes para asegurar el entendimiento de la tarea por parte de los sujetos. Al inicio de cada condición se presentaron 30 estímulos frecuentes y el resto de los estímulos se presentaron pseudoaleatoriamente, con al menos dos estímulos frecuentes

entre cada EI. El intervalo entre cada estímulo fue de 1400 ms, durando cada condición en total 21 minutos.

### 3.7.2. *PRE*

Para cada condición se obtuvo un electroencefalograma (EEG) de forma continua y digitalizada a una tasa de 1000 Hz, con un paso de banda de 0.1 a 30 Hz, mediante un amplificador NuAmps (NeuroScan, Inc.) a partir de 19 electrodos de estaño (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1 y O2) colocados en el cuero cabelludo con una gorra elástica (Electro-Cap International), de acuerdo al Sistema Internacional 10/20 (Jaspers, 1958). Adicionalmente se colocaron dos electrodos en el canto externo del ojo para registrar movimientos oculares horizontales y verticales (HEOG/VEOG). Todos los electrodos fueron referenciados al promedio de los lóbulos de las orejas. Se mantuvieron impedancias por debajo de 5 KOhms. El EEG se filtró fuera de línea con un paso de banda de 1 a 30 Hz. Se rechazaron todos aquellos segmentos del EEG con amplitudes de  $\pm 50 \mu\text{V}$  en HEOG o VEOG. Los PRE se obtuvieron para cada tipo de estímulo a partir de ventanas de promediado de 800 ms, incluyendo 100 ms previos a los estímulos y que sirvieron para la corrección de línea base. El potencial de distracción se obtuvo restando a la respuesta promediada de los estímulos target distractores (ETI), la respuesta promediada de los estímulos target no distractores (ETF). Ambos estímulos (ETI y ETF) constituían el 40% correspondiente a los estímulos target, señalado en el siguiente cuadro (Tabla 3).

Tabla 3. Tabla de distribución de los estímulos, en donde se resaltan los estímulos que fueron ocupados para la obtención del potencial trifásico de distracción.

|  |   |                                       |   |  |
|--|---|---------------------------------------|---|--|
| ESTÍMULOS POR<br>CONDICIÓN N-BACK<br>N=900 | <b>TARGET (T)</b>                                   |                                       | <b>NO-TARGET (NT)</b>                               |  |
|  | <b>40%</b><br><b>N=360</b><br><b>DE LOS CUALES:</b> |                                       | <b>60%</b><br><b>N=540</b><br><b>DE LOS CUALES:</b> |  |
|  | <b>DISTRACTORES<br/>(ETI)</b>                       | <b>NO-<br/>DISTRACTORES<br/>(ETF)</b> | <b>DISTRACTORES<br/>(ENTI)</b>                      | <b>NO-<br/>DISTRACTORES<br/>(ENTF)</b> |
|  | <b>20%</b><br><b>N=72</b>                           | <b>80%</b><br><b>N=288</b>            | <b>20%</b><br><b>N=108</b>                          | <b>80%</b><br><b>N=432</b>             |

Los componentes electrofisiológicos se definieron de la siguiente forma en el potencial diferencial respecto al canal FZ: MMN como el pico negativo máximo en el intervalo de 100 a 200 ms a partir de la presentación del estímulo, P3a como el pico positivo máximo ubicado en el intervalo de 200 a 400 ms y RON como el pico negativo máximo localizado en el intervalo de 400 a 600 ms. Las latencias de cada componente se definieron también con respecto al canal FZ.

### 3.8. Tipo de Diseño

Diseño experimental de un grupo de medidas repetidas con un alcance descriptivo.

### 3.9. Procedimiento

Esta investigación se llevó a cabo en un cuarto acústicamente atenuado, parte del Departamento de Neuropsicología del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía “Manuel Velasco Suárez”. Una vez en él, se proporcionó a los participantes un consentimiento informado en el que se describía la investigación con sus objetivos y la garantía de confidencialidad de los datos obtenidos. Posteriormente se procedió a realizar una entrevista estructurada



breve en donde se obtuvieron datos sociodemográficos. Después de la entrevista, se aplicaron las pruebas neuropsicológicas de filtro (Retención de dígitos y Cubos de Corsi). Al finalizar las pruebas y determinar si los participantes cumplían con los criterios de inclusión, se les sentó en una silla cómoda y se llevó a cabo la instrumentación para la obtención del EEG.

Una vez conectados los sujetos, se les dio la instrucción de que debían apretar dos botones en el panel de respuestas: el botón número 2 cuando el color que escuchaban se hubiera presentado N (1, 2 ó 3, dependiendo de la condición) veces atrás, y el botón número 1 si no se cumplía la condición. Se les presentó el ensayo, al que le siguió aclaraciones de dudas, y una vez asegurado el entendimiento de las instrucciones se dio inicio a las tareas. A todos los sujetos se les presentaron las tres condiciones, contrabalanceándose el orden en que se presentaron a nivel intra-grupo. Al final de cada condición se les dio un descanso de 5 minutos, teniendo el estudio una duración total de 1 hora y 40 minutos.

### **3.10. Análisis Estadístico**

Se realizó un análisis descriptivo para las variables sociodemográficas: edad, género y escolaridad.

Para estimar los cambios en la atención involuntaria asociados con el incremento de demanda en memoria de trabajo se realizaron ANOVAs de medidas repetidas.

Para los datos conductuales (tiempos de reacción y porcentaje de errores) se incluyeron dos factores intragrupos: Nivel de demanda (3 niveles: 1, 2 y 3 Back) y Tipo de estímulo (4 niveles: ETF, ETI, ENTf y ENTi).

Para las latencias, se realizaron análisis independientes para cada componente (MMN, P3a y RON por separado), con el factor intragrupo Nivel de demanda (3 niveles). Para las amplitudes medias, se realizaron análisis independientes para cada componente (MMN, P3a y RON por separado), con dos factores intragrupo: Nivel de demanda (3 niveles) y electrodos frontocentrales (10 niveles: Fp1, Fp2, F3, F7, Fz, F4, F8, C3, Cz y C4).

Se realizó la corrección Greenhouse Geisser para corregir los grados de libertad, debido a que se incumple el supuesto de esfericidad (los efectos principales y las interacciones dentro de cada factor presentan un aumento en la tasa del error tipo I, porque el valor de F es inflado (Box, 1954)). Se ocupó el paquete estadístico PASW Statistic 18, con un nivel de significancia establecido en  $p < 0.05$ .

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Características Sociodemográficas**

Un sujeto fue eliminado del estudio por presentar demasiado artefacto, lo que no permitió su análisis.

La muestra final estuvo conformada por 19 participantes (58% mujeres), cuya media de edad fue de 21.4 años con una desviación estándar de 1.9 y media de escolaridad de 15.1 años con una desviación estándar de 1.1.

### **4.2. Componentes electrofisiológicos**

La MMN se presentó en el rango de 100 a 199 ms mientras que la P3a lo hizo en el rango de 210 a 399 ms y la RON en un rango de 401 a 599 ms en las tres condiciones.

La figura 10 muestra los grandes promedios de los 19 participantes en los electrodos Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, C3, Cz y C4. Se observan los tres componentes MMN, P3a y RON en las tres condiciones experimentales: 1-Back, 2-Back, 3-Back.

En las figuras 11-13 se observa la distribución de la actividad eléctrica cerebral en el cuero cabelludo de los componentes MMN, P3a y RON en las tres condiciones experimentales.

### Potencial trifásico de distracción en las 3 condiciones

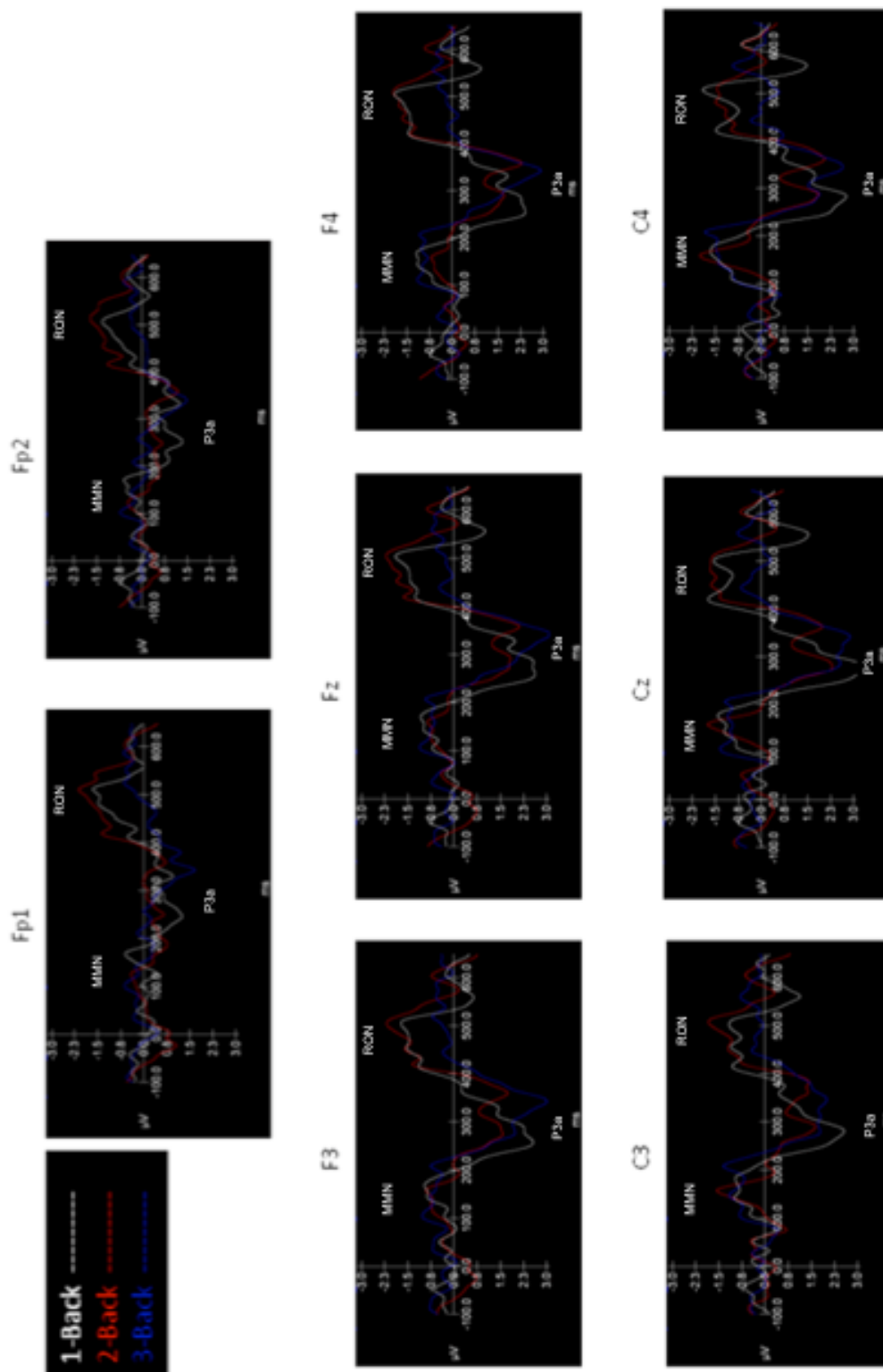


Figura 10. Gran promedio del potencial de distracción de los 19 participantes en regiones fronto-centrales para las tres condiciones experimentales. Se muestra en ventanas de 600 milisegundos en una escala de  $-3\mu\text{V}$  a  $3\mu\text{V}$ .

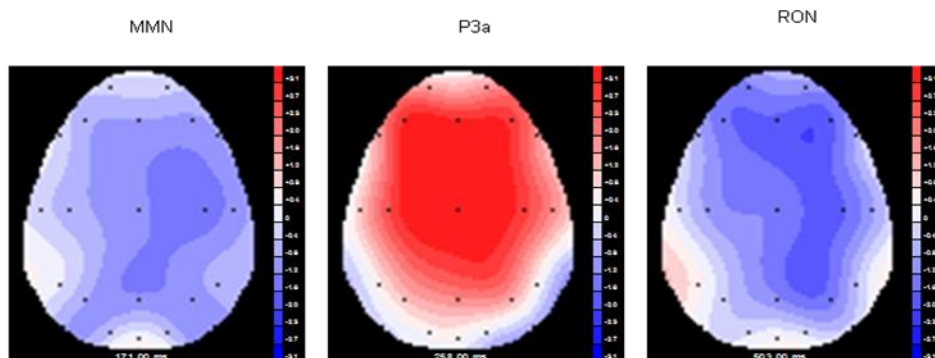


Figura 11. Distribución de la actividad eléctrica cerebral en el cuero cabelludo de los tres componentes MMN, P3a y RON en la condición 1-Back. La escala en la que se presentan es de  $+3.1\mu\text{V}$  a  $-3.1\mu\text{V}$ . Se observa que la actividad del componente P3a esta de color rojo, debido a que su polaridad es positiva y su distribución es frontocentral. Mientras que MMN y RON, ambas de polaridad negativa se observan en azul y con una distribución frontocentral orientada ligeramente a la derecha.

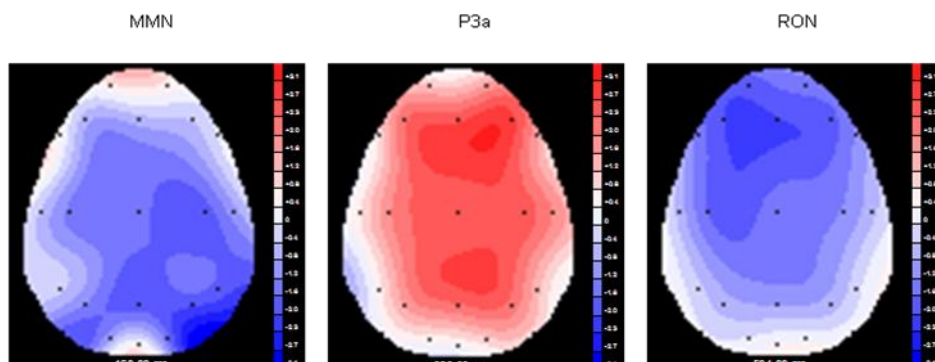


Figura 12. Distribución de la actividad eléctrica cerebral en el cuero cabelludo de los tres componentes MMN, P3a y RON en la condición 2-Back. La escala en la que se muestran va de los  $+3.1\mu\text{V}$  a  $-3.1\mu\text{V}$ . LA MMN presenta una distribución centroparietal, mientras que la RON tiene una distribución frontocentral ambos componentes son de polaridad negativa. El componente de P3a, de polaridad positiva, tiene una distribución frontocentral.

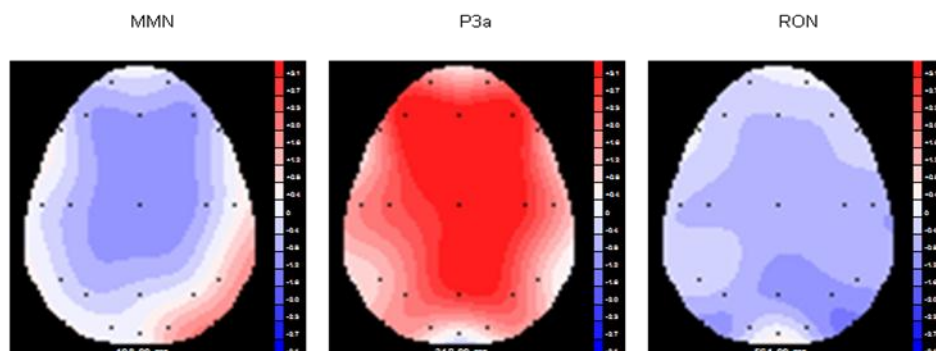


Figura 13. Distribución de la actividad eléctrica cerebral en el cuero cabelludo de los tres componentes MMN, P3a y RON en la condición 3-Back. La escala en la que se presentan es de  $+3.1\mu\text{V}$  a  $-3.1\mu\text{V}$ . Los componentes MMN y RON, de polaridad negativa, tienen una distribución frontocentral y centroparietal respectivamente. El componente P3a, de polaridad positiva se observa en color rojo, y tiene una distribución frontocentral.

### 4.3. Amplitudes

#### 4.3.1. MMN

En la tabla 4 se observan los datos descriptivos en las derivaciones Fz y Cz para las amplitudes de la MMN en cada una de las tres condiciones.

Tabla 4. Medias y desviaciones estándar en las derivaciones Fz y Cz, para las amplitudes de MMN en las tres condiciones.

| MMN ( $\mu\text{V}$ ) | 1-Back          | 2-Back          | 3-Back          |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Fz                    | $-2.95\pm 1.88$ | $-2.49\pm 1.63$ | $-2.69\pm 1.36$ |
| Cz                    | $-3.32\pm 2.72$ | $-2.85\pm 1.75$ | $-2.54\pm 1.37$ |

Se encontraron diferencias significativas en las amplitudes del componente MMN entre los 10 electrodos analizados ( $F=21.9$ ,  $p<0.0001$ ), siendo éstas mayores en los canales Fp1, Fp2, F7 y F8 en todas las condiciones. No se encontraron diferencias significativas entre las tres condiciones experimentales ( $F=1.2$ ,  $p=0.28$ ) ni interacción entre los dos factores (electrodo x condición) ( $F=1.11$ ,  $p=0.36$ ).

#### 4.3.2. P3a

En la tabla 5 se observan los datos descriptivos de los electrodos Fz y Cz, para las amplitudes del componente P3a en las tres condiciones.

Tabla 5. Medias y desviaciones estándar de las derivaciones Fz y Cz, para las amplitudes de P3a en las tres condiciones.

| <b>P3a<br/>(<math>\mu</math>V)</b> | <b>1-Back</b>   | <b>2-Back</b>   | <b>3-Back</b>   |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Fz</b>                          | 4.71 $\pm$ 2.25 | 4.10 $\pm$ 2.20 | 4.53 $\pm$ 2.29 |
| <b>Cz</b>                          | 4.63 $\pm$ 2.70 | 4.82 $\pm$ 2.46 | 4.31 $\pm$ 2.27 |

Se encontraron diferencias significativas en el componente P3a entre los 10 electrodos que se analizaron ( $F=31.040$ ,  $p<0.0001$ ). Particularmente se encontraron amplitudes significativamente mayores en los electrodos F3, Fz, F4, C3, CZ y C4 en todas las condiciones. No se encontraron diferencias significativas entre las tres condiciones ( $F=0.4$ ,  $p=0.6$ ) ni interacción entre los factores ( $F=1.4$ ,  $p=0.23$ )

#### 4.3.3. RON

La tabla 6 muestra estándar de los electrodos Fz y Cz en cada una de las condiciones para las amplitudes del componente RON.

Tabla 6. Medias y desviaciones estándar de las derivaciones Fz y Cz, para las amplitudes de RON en las tres condiciones.

| <b>RON<br/>(<math>\mu</math>V)</b> | <b>1-Back</b>    | <b>2-Back</b>    | <b>3-Back</b>    |
|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Fz</b>                          | -4.0 $\pm$ 1.81  | -4.31 $\pm$ 2.56 | -2.73 $\pm$ 1.29 |
| <b>Cz</b>                          | -3.77 $\pm$ 2.69 | -3.6 $\pm$ 2.29  | -2.63 $\pm$ 1.55 |

Para el componente RON se encontraron diferencias significativas entre las condiciones del estudio ( $F=3.5$ ,  $p<0.0001$ ), siendo las amplitudes para el nivel 3-Back significativamente menores que las amplitudes en la condición 2-Back

( $DM=-1.12$ ,  $p=0.02$ ). Se encontraron también diferencias significativas entre los 10 electrodos analizados ( $F=12.169$ ,  $p<0.0001$ ), observándose amplitudes significativamente mayores en los electrodos Fp2, F7 y F8 en todas las condiciones. No hubo interacción entre los factores ( $F=1.5$ ,  $p=0.2$ ).

#### 4.4. Latencias

La tabla 7 muestra los datos descriptivos de los electrodos Fz y Cz (frontocentrales), para las latencias de cada uno de los componentes en las tres condiciones.

Tabla 7. Medias y desviaciones estándar de las latencias de los componentes MMN, P3a y RON en las tres condiciones en Fz.

| Componente (ms) | 1-Back       | 2-Back       | 3-Back       |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| MMN             | 159.84±31.59 | 145.73±27.40 | 136.0±34.58  |
| P3a             | 303.37±51.19 | 300.05±56.56 | 331.15±40.43 |
| RON             | 478.21±56.61 | 491.42±56.84 | 517.78±63.58 |

Se encontraron diferencias significativas en las latencias de los componentes MMN ( $F=3.7$ ,  $p=0.03$ ) y P3a ( $F=3.4$ ,  $p=0.04$ ) entre los tres niveles N-Back. La MMN se presentó significativamente más tardía en el nivel 1-Back ( $DM=23.84$ ,  $p=0.04$ ) que en el nivel 3-Back y la P3a se presentó significativamente más tardía en el nivel 3-Back ( $DM=-31.1$ ,  $p=0.08$ ) que en nivel 2-Back. No se encontraron diferencias significativas en las latencias del componente RON entre las tres condiciones experimentales ( $F=3.3$ ,  $p=0.09$ ).

#### 4.5. Tiempos de reacción

En la tabla 8 se observan los datos descriptivos de los tiempos de reacción (TR) de cada tipo de estímulo en cada una de las tres condiciones.



Table 8. Medias y desviaciones estándar de los tiempos de reacción de los 4 tipos de estímulo en las tres condiciones.

| Tipo de estímulo (ms) | 1-Back        | 2-Back        | 3-Back        |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Target infrecuente    | 744.53±154.06 | 795.28±173.52 | 839.47±208.36 |
| Target frecuente      | 680.13±147.89 | 715.85±161.15 | 778.54±180.90 |
| No target infrecuente | 767.11±128.18 | 833.14±136.84 | 824.84±177.17 |
| No target frecuente   | 692.37±128.24 | 758.59±132.23 | 735.38±152.72 |

Se encontraron diferencias significativas en los TR entre las tres condiciones experimentales ( $F=4.2$ ,  $p=0.02$ ) y entre los cuatro tipos de estímulos ( $F=28.6$ ,  $p<0.0001$ ). Los TR fueron significativamente mayores en la condición 2-Back que en la condición 1-Back ( $DM=-54.67$ ,  $p=0.02$ ). El análisis posthoc mostró TR significativamente mayores de los estímulos target infrecuentes respecto a los de los estímulos target frecuentes ( $DM=68.25$ ,  $p<0.0001$ ) y no target frecuentes ( $DM=64.31$ ,  $p=0.002$ ). Los TR de los estímulos target frecuentes resultaron significativamente menores respecto a los de los estímulos no target infrecuentes ( $MD=-83.52$ ,  $p<0.0001$ ). Finalmente, los TR de los estímulos no target infrecuentes resultaron significativamente mayores que los de los no target frecuentes ( $DM=79.58$ ,  $p<0.0001$ ). Se encontró interacción entre ambos factores ( $F=7.3$ ,  $p<0.0001$ ).

La Figura 14 muestra las medias estimadas para los tiempos de reacción en función de la condición para cada tipo de estímulo.

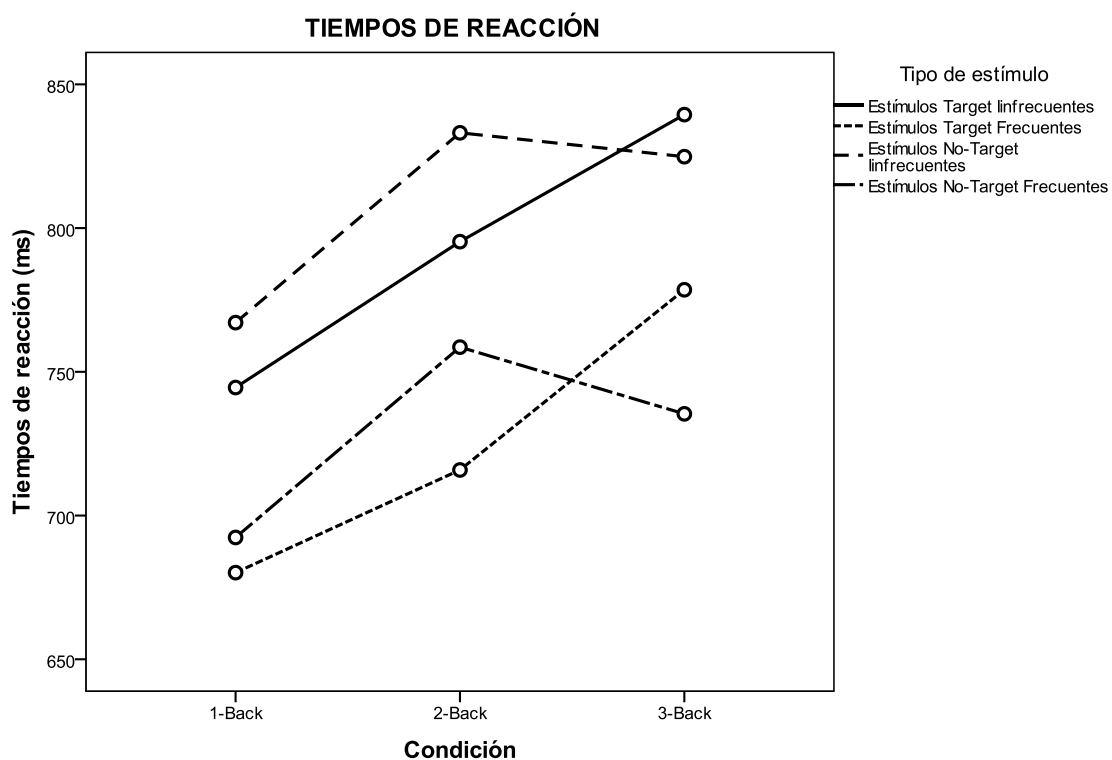


Figura 14. Gráfica de medias estimadas para tiempos de reacción en función de la condición.

#### 4.6. Porcentajes de error

La tabla 9 muestra los datos descriptivos para los porcentajes de error de los cuatro tipos de estímulo en las tres condiciones.

Table 9. Medias y desviaciones estándar de los porcentajes de error de los 4 tipos de estímulo en las tres condiciones.

| Tipo de estímulo (%)  | 1-Back    | 2-Back      | 3-Back      |
|-----------------------|-----------|-------------|-------------|
| Target infrecuente    | 8.0±9.63  | 19.66±19.70 | 51.85±24.89 |
| Target frecuente      | 9.7±6.83  | 20.42±14.84 | 58.30±24.39 |
| No target infrecuente | 3.72±7.60 | 8.83±13.89  | 10.53±7.39  |
| No target frecuente   | 2.88±3.81 | 7.56±11.65  | 8.31±8.38   |

Se encontraron diferencias significativas de los porcentajes de error entre las condiciones experimentales ( $F=50.6$ ,  $p<0.0001$ ) y entre los cuatro estímulos ( $F=42.8$ ,  $p<0.0001$ ). Los porcentajes de error fueron significativamente mayores en la condición 3-Back que en la condición 2-Back ( $DM=18.13$ ,  $p<0.0001$ ) y que en la condición 1-Back ( $DM=26.17$ ,  $p<0.0001$ ). También hubo diferencias significativas entre los porcentajes de error de la condición 2-Back y 1-Back ( $DM=8.04$ ,  $p=0.002$ ). Los análisis posthoc mostraron mayor porcentaje de error en los estímulos target frecuentes respecto a los de los no target infrecuentes ( $DM=18.81$ ,  $p<0.0001$ ) y los de los no target frecuentes ( $DM=20.25$ ,  $p<0.0001$ ). Los estímulos target infrecuentes mostraron mayor porcentaje de error respecto a los no target infrecuentes ( $DM=21.78$ ,  $p<0.0001$ ) y los estímulos no target frecuentes ( $DM=23.21$ ,  $p<0.0001$ ). Se encontró interacción entre los dos factores ( $F=27.2$ ,  $p<0.0001$ ).

La Figura 15 muestra las medias estimadas para los porcentajes de errores en función de la condición para cada uno de los diferentes tipos de estímulos.

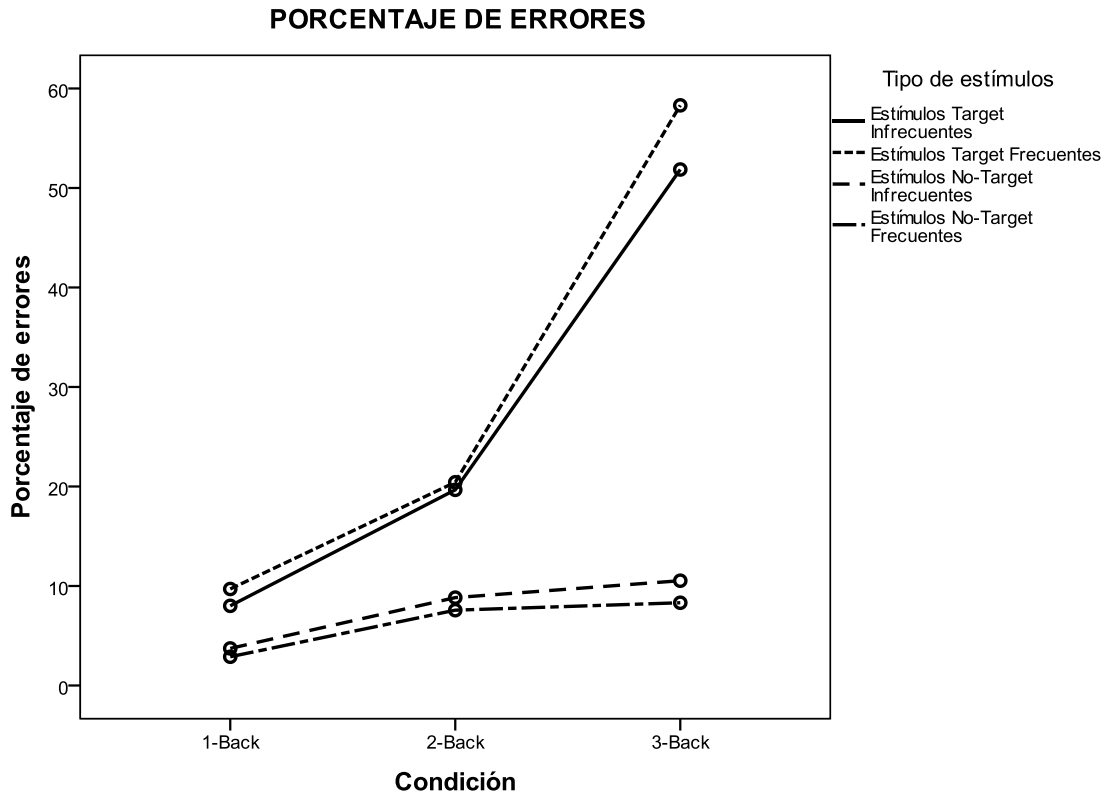


Figura 15. Gráfica de medias estimadas para porcentaje de errores en función de la condición.

## V. DISCUSIÓN

El objetivo general de esta tesis fue determinar mediante PRE y medidas conductuales la influencia de la demanda progresiva en memoria de trabajo sobre la atención involuntaria.

Los tres componentes del potencial de distracción se obtuvieron con el paradigma utilizado, tal y como lo reportan estudios anteriores (Berti et al., 2004; Berti & Schröger, 2001; Berti & Schröger, 2003; Escera, 2002; Escera & Corral, 2003; Horváth et al., 2009; Solís-Vivanco et al., 2009; Sussman et al., 2003), sin ninguna diferencia significativa en su distribución topográfica por el nivel de demanda, lo cual puede representar que no hay un cambio en la activación de diversas zonas cerebrales involucradas en los procesos reflejados en estos componentes.

El componente MMN, que es la señal de la detección automática de la disparidad, se presentó más tardío en la condición de menor demanda 1-Back. Esto podría deberse a que en tareas de baja demanda cognitiva (como en la condición 1-Back) el sistema aumenta la sensibilidad o umbral para detectar la disparidad auditiva con respecto al contexto, retrasando entonces la aparición del componente. Este aumento de la sensibilidad o umbral podría ser realizado por el sistema central para maximizar el uso de los recursos cognitivos. Es entonces que si la tarea no es demandante, no necesita un bajo grado de sensibilidad de los umbrales. En cambio, cuando la demanda es muy grande, los sujetos requieren concentrar muchos recursos cognitivos para ejecutar la tarea, por lo que la detección pasiva de discrepancias (Berti et al., 2004; Horváth et al., 2009; Meneses Ortega, 2006; Munka & Berti, 2006; Nuñez-Peña et al., 2004; Restuccia et al., 2005; Roeber et al., 2003; San-Miguel et al., 2008; Solís-Vivanco et al., 2009; Sussman et al., 2003) es más rápida en comparación a una condición de menor demanda, informando al sistema central que hay una diferencia y entonces se actualiza. Es así que el sistema monitorea y detecta las discrepancias en un nivel automático, sin necesidad de que cambie el foco de atención y se requiera una reorientación a la tarea, lo que implicaría el uso de recursos cognitivos destinados a la tarea principal (Escera et al., 2000). El aumento del umbral de la detección automática de la

disparidad en condiciones de baja demanda sugiere un adecuado gasto de recursos cognitivos, beneficiando al sistema central pues implica un menor desgaste.

Esta hipótesis podría explicar por qué en el estudio realizado por Yi et al. (2004) en la condición de mayor demanda el procesamiento de los estímulos novedosos se incrementó, los cuales representan discrepancias con respecto al contexto y no necesariamente una distracción, ya que su aparición fue anunciada.

A diferencia de lo observado ésta investigación, los estudios previos con PRE no muestran ninguna diferencia significativa en la latencia de MMN (Berti & Schröger, 2003; Munka & Berti, 2006; San-Miguel et al., 2008), esto posiblemente debido a que la diferencia entre los niveles de demanda no era significativa, por tanto no se podía apreciar un efecto en una tarea realmente demandante.

La amplitud de MMN no presentó diferencias significativas entre las tres condiciones, reflejando que la demanda en memoria de trabajo afecta la velocidad del proceso de detección de disparidad auditiva, más no la activación o no activación de las estructuras involucradas en la aparición de éste.

El componente P3a fue más tardío en la condición 3-Back. Este componente es el indicador del cambio de la atención hacia los estímulos distractores y su retraso podría indicar que hubo una modulación de tipo *top-down* (San-Miguel et al., 2008). El hecho de que esta modulación *top-down* se mostrara en la condición de mayor demanda reafirma la suposición de que a mayor demanda en una tarea se activa un sistema de modulación, el cual permite al sistema central inhibir o disminuir la irrupción de la atención por parte de estímulos distractores (Berti & Schröger, 2003; Munka & Berti, 2006; San-Miguel et al., 2008), retrasando el tiempo de detección del estímulo.

A diferencia de los estudios de Berti y Schröger (2003) y San-Miguel et al. (2006), en esta investigación no hubo diferencias significativas en la amplitud del componente P3a, lo cual habla de que la demanda no tuvo ningún efecto en la activación de las áreas involucradas en el cambio de la atención hacia los

estímulos distractores. Es así que la modulación por parte del mecanismo *top-down* se observa solamente en el tiempo que tarda en dirigirse la atención hacia los estímulos novedosos (latencia), y no necesariamente en el nivel de activación de las áreas cerebrales (amplitud). Esto sugiere que la orientación de la atención hacia los estímulos novedosos siempre está presente, independientemente del grado de compromiso por parte de la memoria de trabajo. Es así que el sistema central se mantiene flexible, percibiendo los estímulos que son potencialmente importantes, pero sin que interfieran en el procesamiento de la tarea principal.

En cuanto al componente de reorientación de la atención RON, su amplitud se observó disminuida en la condición de mayor demanda (3-Back). Esto indica que la demanda de la tarea afecta a nivel de la reorientación después de una distracción (Berti & Schröger, 2003). Cuando los sujetos se encuentran realizando una tarea que es muy difícil y son distraídos, regresar la atención hacia la tarea principal resulta en un gasto de recursos, con los cuales el sistema central ya no cuenta, pues la demanda los ha “consumido”, por lo que el proceso se vuelve imposible. Esto concuerda con lo reportado por los participantes, en cuanto a que en esta condición había un momento en donde ya no eran capaces de responder, aún cuando siguieran percibiendo y reconociendo los estímulos (distractores y no distractores).

Al igual que en los estudios anteriores, no se presentaron diferencias significativas en cuanto a la latencia del componente RON, es así que la demanda no tuvo influencia en el tiempo de aparición de este componente, pero sí en el nivel de activación (reflejado en la disminución de su amplitud) de las áreas cerebrales relacionadas con la reorientación de la atención. Es decir, el estímulo novedoso se detecta invariablemente, pero no siempre se da una reorientación a la tarea principal después de una distracción, sino sólo cuando los recursos cognitivos no han sido empleados para ejecutar una tarea muy difícil, como por ejemplo la tarea 3-Back.

Los estudios anteriores muestran una discrepancia en cuanto a la amplitud de este componente: mientras que Berti y Schröger (2003) reportaron una disminución en la condición de mayor demanda, San-Miguel et. al. (2006)

observaron un aumento. Esta discrepancia puede deberse a la falta de diferencia significativa entre sus condiciones de alta y baja demanda.

La disminución de la amplitud del componente RON en este trabajo puede explicar el deterioro en la ejecución de los sujetos en tareas difíciles, sugiriendo que este empobrecimiento no es debido a la distracción, sino a que no hay un regreso de la atención a la tarea que se estaba ejecutando y por lo tanto no ocurre una respuesta. Es decir, los sujetos perciben los estímulos nuevos (lo cual es evolutivamente adaptativo) y dirigen su atención hacia estos (una distracción, mecanismo *bottom-up*), pero cuando se está realizando una tarea muy complicada no les es posible realizar la acción voluntaria de desenganchar la atención de ese estímulo novedoso y regresarla a la tarea que estaban realizando antes de esa distracción.

La atención involuntaria fue efectivamente observada, tanto por la presentación del potencial trifásico de distracción, como por los tiempos de reacción, que aumentaron ante los estímulos infrecuentes. Igualmente, la manipulación del nivel de demanda en memoria de trabajo provocó un decremento progresivo en la ejecución de las condiciones, lo cual se vio reflejado por un mayor porcentaje de errores para los estímulos target.

En cuanto a los tiempos de reacción, éstos fueron mayores para los estímulos distractores, independientemente de que fueran o no target. Esto da cuenta de que efectivamente se obtuvo un efecto de distracción (Berti et al., 2004; Escera et al., 2000; Escera & Corral, 2003; Schröger et al., 2000; Solís-Vivanco et al., 2009), pues la presencia de los estímulos distractores aumentaron el tiempo que se requiere para evaluar el estímulo y de esta forma interfiere con su procesamiento, tal y como se observa en los estudios anteriores de Berti y Schröger (2003) y San-Miguel et. al. (2008).

El grado de demanda para la memoria de trabajo claramente tiene un efecto sobre la distracción, pero el deterioro en la ejecución reportada por los estudios previos probablemente no es debido a la distracción *per se* (Lavie et al., 2004; Rissman et al., 2009; Yi, Woodman, Widders, Marois & Chun, 2004), sino a la falla en regresar la atención hacia la tarea principal después de una distracción. Esto es apoyado por los resultados conductuales, pues se observa que los



estímulos target presentaron el mayor porcentaje de errores, independientemente de que contuvieran o no la propiedad distractora. La cantidad de recursos cognitivos empleados en la condición 3-Back es muy grande, lo cual puede interferir en la acción reflejada por RON de priorizar el procesamiento de la característica relevante de los estímulos (Berti, 2008; Berti & Schröger, 2001; Munka & Berti, 2006; Schröger et al., 2000; Schröger & Wolff, 1998). Además, el hecho de que este componente sea influenciado por la demanda de memoria de trabajo apoya su papel dentro de los procesos de control ejecutivo (Berti, 2008; Berti & Schröger, 2001; Munka & Berti, 2006; Schröger et al., 2000; Schröger & Wolff, 1998) y explica su posible localización de generadores en la corteza prefrontal (Escera et al., 2000; Escera et al., 2001; Schröger & Wolff, 1998; Sussman et al., 2003)

Esto se ve apoyado por la interacción que se presentó entre los factores porcentajes de errores y los estímulos en el análisis conductual (Fig. 15). En la condición 2-Back el porcentaje de errores se iguala entre los dos estímulos target (frecuentes e infrecuentes), por lo que a pesar de la demanda, sí se presenta una modulación *top-down* sobre el efecto distractor, equivocándose igual tanto si se trata de un distractor o no.

Los resultados presentados muestran que el nivel de demanda atribuido a la memoria de trabajo afecta los procesos involucrados en las tres fases de la atención involuntaria. Esta influencia fue observada tanto a nivel electrofisiológico, en los tres componentes del potencial trifásico de distracción, como a nivel conductual.

Con base en todo lo anterior es cierto que la demanda tiene influencia en la atención involuntaria, aunque en fases diferentes de ésta dependiendo del grado de complejidad de la tarea que se está llevando a cabo. Si la demanda no es muy alta, el sistema central es capaz de ejercer un control *top-down* sobre el cambio involuntario de la atención hacia los estímulos distractores (Berti & Schröger, 2003; San-Miguel et al., 2008), pero si la demanda es muy alta, el sistema “colapsa” y la ejecución se deteriora por la falta de recursos disponibles (Lavie, 2005; Lavie et al., 2004) para llevar a cabo la acción voluntaria de reorientar la atención a la tarea principal (Berti & Schröger, 2003).

También se observa cómo la detección automática de la disparidad juega un papel importante en el uso eficiente de los recursos cognitivos, ya que en situaciones de poca demanda este proceso se encarga de detectar cambios y actualizar el esquema contextual sin la necesidad de cambiar de dirección la atención.

Además se observa que la dificultad de la tarea es la responsable directa de la eficacia en la ejecución y que la distracción no tiene influencia en el número de errores que los sujetos cometen.

Por su parte, se puede plantear que la orientación de la atención hacia estímulos novedosos, un proceso de tipo *bottom-up*, se presenta aún cuando la demanda es grande, sugiriendo que la modulación no se da a nivel de activación sino en la velocidad en que se realiza este proceso. Se retrasa, pero no desaparece, permitiendo así captar cualquier posible amenaza y dar una respuesta si es necesario. El sistema mantiene esta flexibilidad de permitir a los mecanismos automáticos *bottom-up* estar presentes, mientras que los recursos no sean consumidos por la dificultad de la tarea. Entonces, la distracción se presenta siempre, siendo modulada cuando los recursos no se han agotado por la dificultad de la tarea.

## VI. CONCLUSIONES

Se puede concluir que existe un efecto de la demanda en memoria de trabajo sobre la atención involuntaria a diferentes niveles y sobre la ejecución de la tarea:

- En la detección automática de la disparidad (MMN) se observó una aparición tardía en la condición de baja demanda, lo cual reflejó un aumento del umbral para detectar estímulos novedosos o discrepantes.
- En cuanto a la orientación de la atención hacia los estímulos novedosos (P3a), se observó una modulación de tipo *top-down* en la condición de mayor demanda, lo que apoya la teoría de que en situaciones en donde se requiera una gran concentración los mecanismos de modulación de la atención se activan para prevenir distracciones.
- La reorientación de la atención (RON) fue la más influenciada por la demanda de la tarea, pues visiblemente se reduce en la condición de mayor demanda.
- Para los estímulos infrecuentes los tiempos de reacción fueron mayores, lo que refleja que efectivamente hubo un efecto distractor.
- Los porcentajes de errores fueron mayores para los estímulos a los que los sujetos debían responder, independientemente de si eran o no distractores. Esto demostró que el deterioro en la ejecución es debido a la dificultad de la tarea y no a la distracción.

Retomando el ejemplo inicial de esta tesis, y con base en los datos obtenidos en la investigación, se puede concluir que nos distraeremos en la misma medida tanto si estamos realizando una tarea sencilla como una muy difícil. Los eventos distractores serán captados de igual manera, pero no en el mismo tiempo, es decir, cuando estamos estudiando un texto un poco difícil tardaremos más en darnos cuenta que está sonando el teléfono. El nivel de ejecución se verá empobrecido cuando la tarea que estemos llevando a cabo sea muy difícil, independientemente de si hay o no algún estímulo que pueda captar nuestra atención y alejarla de la tarea que estamos haciendo.

## VII. CONSIDERACIONES FINALES

Esta investigación tuvo la ventaja de contar con la técnica de los PRE, que representó una gran herramienta para determinar a qué nivel es que se da la influencia de la memoria de trabajo sobre la atención involuntaria. Además, el aumento progresivo de la demanda permitió observar el curso de su influencia y encontrar un nivel intermedio que permitiera una ejecución eficaz y también una modulación de tipo *top-down* sobre la orientación de la atención hacia los estímulos distractores. También, permitió hallar un límite de nivel de demanda de memoria de trabajo mientras simultáneamente se presentan distractores, en el cual el sistema central ya no es capaz de realizar la tarea y se deteriora la ejecución. Contó con la participación de gente joven y sana, la cual fue capaz de realizar todas las condiciones y reportar sus experiencias. La fusión de la tarea de memoria de trabajo y el paradigma auditivo permitió un mejor análisis de los resultados.

En futuros estudios una muestra mayor podría esclarecer el comportamiento de la MMN y el uso de imágenes funcionales daría un mejor panorama de cuáles son las estructuras que están implicadas en este límite del sistema cuando el nivel de demanda en memoria de trabajo es muy grande. La aplicación en la población clínica con problemas de atención también podría proporcionar más datos acerca de la naturaleza de este límite.

## REFERENCIAS

- Awh, E., Vogel, E. & Oh, S. (2006). Interactions Between Attention and Working Memory. *Neuroscience*, 139, 201-208.
- Baddeley, A. (1998). Working Memory. *Life Sci*, 321, 167-173.
- Beck, D. M. & Kastner, S. (2009). Top-down and bottom-up mechanisms in biasing competition in the human brain. *Vision Res*, 49, 1154-1165.
- Berger, A. & Posner, M. I. (2000). Pathologies of brain attentional networks. *Neurosci Biobehav Rev*, 24, 3-5.
- Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal and curiosity*. New York: McGraw-Hill.
- Berti, S. (2008). Object switching within working memory is reflected in the human event-related brain potential. *Neurosci Lett*, 434, 200-205.
- Berti, S., Roeber, U. & Schröger, E. (2004). Bottom-up influences on working memory: Behavioral and electrophysiological distraction varies with distractor strength. *Exp Psychol*, 51(4), 249-257.
- Berti, S. & Schröger, E. (2001). A comparison of auditory and visual distraction effects: behavioral and event-related indices. *Cogn Brain Res*, 10, 265-273.
- Berti, S. & Schröger, E. (2003). Working memory controls involuntary attention switching: evidence from an auditory distraction paradigm. *Eur J Neurosci*, 17, 1119-1122.
- Blokland, G. A. M., McMahon, K. L., Hoffman, J., Zhu, G., Meredith, M., Martin, N. G. et al. (2008). Quantifying the heritability of task-related brain activation and performance during the N-Back working memory task: A twin fMRI study. *Biol Psychol*, 79, 70-79.
- Box, G. (1954). Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems: II effects of inequality of variance and of correlation of errors in two-way classification. *Annals of Mathematical Statistics*, 25: 484-498.
- Chen, Y., Mitra, S. & Schlaghecken, F. (2008). Sub-processes of working memory in the N-back task: An investigation using ERPs. *Clin Neurophysiol*, 119, 1546-1559.
- Desimone, R. & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective attention. *Annu Rev Neurosci*, 18, 193-222.

- Dolcos, F., Miller, B., Kragel, P., Jha, A. & McCarthy, G. (2007). Regional brain differences in the effect of distraction during the delay interval of a working memory task. *Brain Res*, 1152, 171-181.
- Escera, C. (2002). Evaluación de disfunciones neurocognitivas con potenciales evocados. *Rev Psiquiatria*, 29(6), 362-373.
- Escera, C., Alho, K., Schröger, E. & Winkler, I. (2000). Involuntary Attention and Distractibility as Evaluated with Event-Related Brain Potentials. *Audiol Neurootol*, 5, 151-166.
- Escera, C. & Corral, M. (2003). The distraction potential (DP), an electrophysiological tracer of involuntary attention control and dysfunction. In I. Reinvas, M. W. Greenlee & M. Herrmann (Eds.), *The cognitive neuroscience of individual differences* (pp. 63-76). Oldenburg: Bibliotheks-und Informationssystem der Universität Oldenburg.
- Escera, C., Yago, E. & Alho, K. (2001). Electrical responses reveal the temporal dynamics of brain events during involuntary attention switching. *Eur J Neurosci*, 14, 877-883.
- Estévez-González, A., García-Sánchez, C. & Junqué, C. (1997). La atención: una compleja función cerebral. *Rev Neurol*, 25(148), 1989-1997.
- Eysenck, H. J. (Ed.). (1967). *Attention, Arousal and the Orientation Reaction* (Vol. 3): International Series of Monographs in Experimental Psychology.
- Eysenck, M. W. (1985). *Atención y activación. Cognición y realización*. Barcelona: Herder.
- Fabiani, M., Gratton, G. & Federmeier, K. (2007). *Event-Related Brain Potentials : Methods, Theory, and Applications* (3ra ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gomarus, H. K., Althaus, M., Wijers, A. A. & Minderaa, R. B. (2006). The effects of memory load and stimulus relevance on the EEG during a visual selective memory search task: An ERP and ERD/ERS study. *Clin Neurophysiol*, 117, 871-884.
- González Garrido, A. & Ramos-Loyo, J. (2006). Aspectos generales de la atención. In A. González Garrido & J. Ramos-Loyo (Eds.), *La atención y sus alteraciones: del cerebro a la conducta*. México: Manual Moderno.
- Gruber, O., Melcher, T., Diekhof, E., Karch, S., Falkai, P. & Goschke, T. (2009). Brain mechanisms associated with background monitoring of the

- environment for potentially significant sensory events. *Brain Cogn*, 63(9), 559-564.
- Herrmann, C. S. & Knight, R. T. (2001). Mechanisms of human attention: event-related potential and oscillations. *Neurosci Biobehav Rev*, 25, 465-476.
- Horváth, J., Czigler, I., Birkás, E., Winkler, I. & Gervai, J. (2009). Age-related differences in distraction and reorientation in an auditory task. *Neurobiol Aging*, 30, 1157-1172.
- Horváth, J., Winkler, I. & Bendixen, A. (2008). Do N1/MMN, P3a, and RON form a strongly coupled chain reflecting the three stages of auditory distraction? *Biol Psychol*, 79, 139-147.
- Hulme, C. & Mckenzie, S. (1994). *Dificultades Graves en el Aprendizaje. El papel de la Memoria*. España: Ariel.
- Jansma, J. M., Ramsey, N. F., Coppola, R. & Kahn, R. S. (2000). Specific versus Nonspecific Brain Activity in a Parametric N-Back Task. *Neuroimage*, 12, 688-697.
- Jaspers, H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 10, 371-375.
- Kähkönen, S., Ahveninen, J., Pekkonen, E., Kaakkola, S., Huttunen, J., Ilmoniemi, R. et al. (2002). Dopamine modulates involuntary attention shifting and reorientation. An electromagnetic study. *Clin Neurophysiol*, 113, 1894-1902.
- Kane, M., Conway, A., Miura, T. & Colflesh, G. (2007). Working Memory, Attention Control, and the N-Back Task: A Question of Construct Validity. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 33(3), 615-622.
- Kujala, T., Tervaniemi, M. & Schröger, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: Theoretical and methodological considerations. *Biol Psychol*, 74, 1-19.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused?: Selective attention under load. *Trends Cogn Sci*, 9(2), 75-82.
- Lavie, N., Hirt, A., Fockert, J. W. d. & Vidding, E. (2004). Load Theory of selective Attention and Cognitive Control. *J. Exp. Psychol.-Gen.*, 133(3), 339-354.

- Lepsien, J. & Nobre, A. C. (2006). Cognitive control of attention in the human brain: Insights from orienting attention to mental representations. *Brain Res*, 1105, 20-31.
- Luck, S. J., Woodman, G. F. & Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends Cogn Sci*, 4(11), 432-440.
- Luria, A. (1979). *Atención y Memoria* (1 ed.). Barcelona: Fontanella.
- Meneses Ortega, S. (2006). Mecanismos de la atención: un aproximación electrofisiológica. In A. González Garrido & J. Romos Loyo (Eds.), *La atención y sus alteraciones: del cerebro a la conducta*. México: Manual Moderno.
- Miller, B. T., Deouell, L. Y., Dam, C., Knight, R. T. & D'Esposito, M. (2008). Spatio-temporal dynamics of neural mechanisms underlying component operations in working memory. *Brain Res*, 1206, 61-75.
- Müller, N. G. & Knight, R. T. (2006). The functional neuroanatomy of working memory: contributions of human brain lesion studies. *Neuroscience*, 139, 51-58.
- Munka, L. & 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, 177-181.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T. & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clin Neurophysiol*, 118, 2544-2590.
- Nielsen-Bohlman, L. & Knight, R. T. (1999). Prefrontal cortical involvement in visual working memory. *Cogn Brain Res*, 8, 299-310.
- Nuñez-Peña, M., Corral, M. & Escera, C. (2004). Potenciales evocados cerebrales en el contexto de la investigación psicológica: una actualización. *An Psicol*, 35(1), 3-21.
- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: exploring the focus of attention. *J Exp Psychol Learn Mem Cog*, 28(411-421).
- Ostrosky-Solís, F., Gómez, M. E., Matute, E., Rosselli, M., Ardila, A. & Pineda, D. (2003). *Neuropsi: Atención y Memoria 6 a 85 años* (1ra. ed.). México: American Book Store.



- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol*, 118, 2128-2148.
- Portellano, J. A. (2005). *Introducción a la Neuropsicología*. España: McGraw-Hill.
- Posner, M. I. & Petersen, S. E. (1990). The Attention System of the Human Brain. *Annu. Rev. Neurosci.*, 13, 25-42.
- Posner, M. I. & Presti, D. E. (1987). Selective attention and cognitive control. *Trends Neurosci*, 10, 13-17.
- Posner, M. I., Sheese, B. E., Odludas, Y. & Tang, Y. (2006). Analyzing and shaping human attentional networks. *Neural Netw*, 19, 1422-1429.
- Protzner, A. B., Cortese, F., Alain, C. & McIntosh, A. R. (2009). The temporal interaction of modality specific and process specific neural networks supporting simple working memory tasks. *Neuropsychologia*, 47, 1954-1963.
- Restuccia, D., Della Marca, G., Marra, C. & Massimiliano Valeriani, M. R. (2005). Attentional load of the primary task influences the frontal but not the temporal generators of mismatch negativity. *Cogn Brain Res*, 25.
- Rissman, J., Gazzaley, A. & D'Esposito, M. (2009). The effect of non-visual working memory load on top-down modulation of visual processing. *Neuropsychology*, 47, 1637-1646.
- Roeber, U., Widmann, A. & Schröger, E. (2003). Auditory distraction by duration and location deviants: a behavioral and event-related potential study. *Cogn Brain Res*, 17, 347-357.
- Ruiz-Contreras, A. & Cansino, S. (2005). Neurofisiología de la interacción entre la atención y la memoria episódica: revisión de estudios en modalidad visual. *Rev Neurol*, 41(12), 733-743.
- San-Miguel, I., Corral, M. & Escera, C. (2008). When Load Working Memory Reduces Distraction: Behavioral and Electrophysiological Evidence from an Auditory-Visual Distraction Paradigm. *J Cogn Neurosci*, 20(7), 1131-1145.
- Schröger, E., Giard, M. H. & Wolff, C. (2000). Auditory distraction: event-related potential and behavioral indices. *Clin Neurophysiol*, 111, 1450-1460.

- Schröger, E. & Wolff, C. (1998). Behavioral and Electrophysiological effects of task-irrelevant sound change: a new distraction paradigm. *Cogn Brain Res*, 7, 71-87.
- Shucard, J., Tekok-Kilic, A., Shiels, K. & Shucard, D. (2009). Stage and load effects on ERP topography during verbal and spatial working memory. *Brain Res*, 1254, 49-52.
- Smith, E. M. & Kosslyn, S. M. (2008). *Procesos Cognitivos: Modelos y Bases Neurales*: Prentice-Hall.
- Solís-Vivanco, R., Ricardo Garcell, J. & Rodriguez Agudelo, Y. (2009). La Atención Involuntaria: Aspectos clínicos y electrofisiológicos. *Rev Ecuat Neurol*, 18(1-2), 94-104.
- Suchan, B., Pickenhagen, A. & Daum, I. (2005). Effect of working memory on evaluation-related frontocentral negativity. *Behav Brain Res*, 160, 331-337.
- Sussman, E., Winkler, I. & Schröger, E. (2003). Top-Down control over involuntary attention switching in the auditory modality. *Psychon Bull Rev*, 10(3), 630-637.
- Téllez López, A., Téllez López, H., Mendoza González, M. E., Butcher López, E. A., Pacheco Ralley, C. C. & Tirado Medina, H. (2002). *Atención Memoria y Aprendizaje* (2a. ed.). México: Trillas.
- Wetzel, N., Widmann, A., Berti, S. & Schröger, E. (2006). The development of involuntary and voluntary attention from childhood to adulthood: A combined behavioral and event-related potential study. *Clin Neurophysiol*, 117, 2191-2203.
- Wintink, A. J., Segalowitz, S. J. & Cudmore, L. J. (2001). Task complexity and habituation effects on frontal P300 topography. *Brain Cogn*, 46, 307-311.
- Woodward, T. S., Cairo, T. A., Ruff, C. C., Takane, Y., Hunter, M. A. & Ngan, E. T. C. (2006). Functional connectivity reveals load dependent neural systems underlying encoding and maintenance in verbal working memory. *Neuroscience*, 139, 317-325.
- Yi, D.-J., Woodman, G. F., Widders, D., Marois, R. & Chun, M. M. (2004). Neural fate of ignores stimuli: dissociable effects of preceptual and working memory load. *Nat. Neurosci.*, 7(9), 992-996.

Yoon, J. H., Curtis, C. E. & D'Esposito, M. (2006). Differential effects of distraction during working memory on delay-period activity in the prefrontal cortex and the visual association cortex. *Neuroimage*, 29, 1117-1126.