

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

**DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA  
EXPERIMENTAL**

**TESIS DOCTORAL**

**RELACIÓN ENTRE LA ATENCIÓN Y LA  
MADURACIÓN DEL P300**



**MARÍA DE LOS ÁNGELES ROJAS BENJUMEA**

**Sevilla**

**2015**

**Universidad de Sevilla**

**Departamento de Psicología Experimental**



**RELACIÓN ENTRE LA ATENCIÓN Y LA  
MADURACIÓN DEL P300**

Tesis Doctoral presentada por

**MARÍA DE LOS ÁNGELES ROJAS BENJUMEA**

para optar al grado de Doctora en Psicología

dirigida por el Dr. Carlos María Gómez González

Sevilla, 2015

*Dedicatoria*

*A mis padres, Ana y Juan; hermanos Francisco y Blanca;  
a mis sobrinos Ana y Juan y de manera muy  
especial a mi marido, Javier, compañero y pilar en mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

- ✚ Al profesor Doctor D. **Carlos María Gómez González**, por darme la oportunidad de aportar mi "granito" a las Ciencias y a la Humanidad. Sin él este trabajo no existiría. Gracias por todo lo que me has aportado.
- ✚ A mis **compañeras de departamento**, por toda la ayuda prestada.
- ✚ A todas las **personas que donaron** su tiempo y ondas cerebrales, especialmente a **mis alumnos**, para este trabajo y el de mis compañeras.
- ✚ A la Doctora Doña **Catrina Isabel Barriga da Silva Paulino**, por estar siempre a mi lado ayudándome en todo. Ha sido en este proceso de aprendizaje un eslabón muy importante. Gracias por darlo todo sin pedir nada a cambio.
- ✚ Al Doctor D. **Josep Marco Pallares**, por la ayuda y orientación en el uso y aplicación del programa matlab en esta investigación.
- ✚ A mi compañero de vida, **Francisco Javier Quintanal Pérez**. Agradecida por los ánimos y la fuerza que me ha transmitido en todo momento. Gracias por creer en mí, por asumir tareas de casa que no te correspondían, por aguantar sin protestar todo lo que esto ha supuesto. Por el interés que has mostrado en todo cuando investigaba y el afán que ponías en aprenderlo tú también. **GRACIAS.**

## **GLOSARIO DE ABREVIATURAS**

ANOVA: Análisis de la varianza.

CNV: Variación Contingente Negativa (Contingent Negative Variation).

EEG: Electroencefalograma.

ERN: Negatividad Relacionada con el Error (Error Related Negativity).

ERP: Potencial Relacionado con Eventos.

FSP: Positividad de Selección Fronto-polar.

IOR: Efecto de Inhibición de Retorno.

LPC: Componente Positivo Tardío.

LPN: Negatividad de Procesamiento Tardío (Late Processing Negativity).

MLP: Memoria a Largo Plazo.

MRI: Imagen por Resonancia Magnética.

NSW: Onda Lenta Negativa (Negative Slow Wave).

PEVs: Potenciales Evocados.

Pop-Out: Búsqueda Atencional en Paralelo.

PRE: Potenciales Relacionados con Eventos.

PSP: Parálisis Supranuclear Progresiva.

RO: Reflejo de Orientación.

RT: Tiempo de Reacción.

SAS: Sistema Atencional Superior.

SN: Selection Negativity (Negatividad de Selección).

SNA: Sistema Nervioso Autónomo.

SW: Onda Lenta (Slow Wave).

TEP: Tomografía por Emisión de Positrones.

WM: Memoria de Trabajo.

## **UNIDADES**

Hz: Hercios.

Ms: Milisegundos.

$\mu$ V: Microvoltios.

Nota sobre nomenclatura:

En el experimento I, seguiremos el acuerdo de usar el término Pop-Out para referirnos al paradigma que induce una búsqueda visual pre-atencional o en paralelo. Usaremos el término Visual Search para referirnos al paradigma que induce una búsqueda visual en serie.

## RESUMEN

Esta Tesis está basada en una investigación cuyo objetivo es estudiar la relación entre el desarrollo del ser humano y la edad, y el desarrollo del ser humano y la atención, advirtiendo cómo en condiciones normales existe un desarrollo paralelo. El estudio consta de dos experimentos. En el primero, se estudia el desarrollo de la atención respecto a edad administrando a los sujetos tareas de búsqueda visual y tareas stop. Para ello hemos presentado un total de 90 ensayos de búsqueda visual, a 69 sujetos, con edades comprendidas entre 6 y 16 años. Se dividieron en tres grupos de edad: 6-8, 9-12 y 14-16 años, respectivamente. Se evaluaron los cambios y desarrollo de las trayectorias de la atención visual basándonos en los Paradigmas de búsqueda visual (Visual Search) y búsqueda pre-atencional en paralelo (Pre-attentional Parallel Search: Pop-Out), (en ambos se trabajó con 2, 4 y 6 estímulos) así como en el Paradigma Stop Signal Task. Se estudió la relación entre atención y tiempo de reacción (TR) en la condición estímulo objetivo en los tres paradigmas –Visual Search, Pop-out y Stop Task-, así como con los errores totales, omisiones y respuestas incorrectas. Los resultados mostraron una relación inversa de la edad con los TRs y los diferentes tipos de errores. Se observó que los sujetos de menor edad no tienden a contestar de manera impulsiva, sino que por el contrario no emiten respuestas en situaciones estimulares complicadas. A

tempranas edades ya poseen habilidades cognitivas, perceptuales y motoras para poder responder adecuadamente a tareas de respuesta rápidas.

En el segundo experimento se analiza el desarrollo de PREs en la condición de selección de un estímulo objetivo –estímulo novedoso- frente a una condición de estímulo estándar –estímulo repetitivo y por tanto no novedoso-. Para ello, se registraron conductual y electroencefalográficamente 170 sujetos, con edades comprendidas entre los 6 y los 26 años. La muestra se dividió en 5 grupos de edad: 6-9, 10-13, 14-17, 18-21 y 22-26 años de edad, respectivamente. Se registró la actividad eléctrica utilizando un montaje de 36 electrodos mientras los sujetos realizaban una tarea basada en el clásico Paradigma Oddball. Los resultados conductuales muestran que los TRs decrecen con la edad así como los errores, mientras que el parámetro de sensibilidad  $d'$  se incrementa. El sesgo de respuesta C varía desde unos valores conservadores a otros neutrales al aumentar la edad. Los PREs muestran que la FSP (Positividad de Selección Fronto-Polar -Fronto-polar Selection Positivity-) y la SN (Negatividad de Selección -Selection Negativity-) fueron estadísticamente significativos en todos los grupos de edad.

El componente P3a fue estadísticamente significativo a partir de los 18 años de edad. La modulación del componente P3b fue significativa en todos los grupos de edad aunque se observó un

decrecimiento de la amplitud con la edad. Los picos de latencias para el FSP y el P3b decrecen con la edad.

Los resultados indican una mejora atencional con la edad que va acompañada de cambios concomitantes en los PREs.

**Palabras Claves:** Desarrollo de la atención; Niños/as; Visual Search; Pop-out; Selección de estímulos objetivos, Positividad de selección frontal; Negatividad de selección; P3a; P3b.

## INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1. La atención. Evolución conceptual.....	4
2.2. Redes atencionales neuronales. Bases neurológicas.....	18
2.3. Tipos de atención .....	26
2.3.1. Atención pasiva o automática .....	26
2.3.2. Atención selectiva o activa .....	27
2.4. Tipos de atención según García-Sevilla .....	28
2.5. Desarrollo de la atención en niños .....	29
2.6. Señales EEG .....	34
2.6.1. Características del EEG .....	35
2.7. Potenciales Evocados Relacionados con Eventos (PREs)	36
2.8. Descripción de los distintos PREs .....	37
2.8.1. Componentes P100 Y N100 .....	37
2.8.2. Componentes P200 y N200 .....	40

2.8.3. Componente P300.....	42
2.8.3.1. Bases neurológicas del componente P300	45
2.8.3.2. Amplitud y latencia .....	47
<b>3. HIPÓTESIS GENERALES.....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO II. EXPERIMENTO I .....</b>	<b>51</b>
<b>4. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>5. HIPÓTESIS .....</b>	<b>58</b>
<b>6. MÉTODO .....</b>	<b>59</b>
6.1. Muestra .....	59
6.2. Estímulos .....	61
6.3. Paradigma y procedimiento.....	61
<b>7. ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>69</b>
7.1. Datos conductuales .....	69
<b>8. RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
8.1. Análisis de los TRs del estímulo objetivo en las condiciones Pop-Out y Visual Search .....	71
8.2. Análisis de los errores totales del estímulo objetivo en las condiciones Pop-Out y Visual Search .....	76

8.3. Análisis de los diferentes tipos de errores .....	80
8.3.1. Análisis de errores de omisión .....	82
8.3.2. Análisis de respuestas incorrectas .....	86
8.3.3. Variabilidad en los TRs y errores .....	89
8.4. Tarea Stop .....	93
8.5. Trayectorias de desarrollo.....	94
<b>9. DISCUSIÓN .....</b>	<b>97</b>
<b>CAPÍTULO III. EXPERIMENTO II .....</b>	<b>107</b>
<b>10. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>108</b>
<b>11. HIPÓTESIS .....</b>	<b>118</b>
<b>12. MÉTODO .....</b>	<b>119</b>
12.1. Muestra .....	119
12.2. Estímulos .....	121
12.3. Paradigma y procedimiento.....	121
<b>13. ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>128</b>
13.1. Análisis conductual .....	128
13.2. Análisis PREs .....	129

13.3. Análisis estadístico PREs.....	131
<b>14. RESULTADOS.....</b>	<b>132</b>
14.1. Medidas conductuales .....	132
14.2. Potenciales Relacionados con Eventos (PREs) .....	136
14.3. Componente P2: Positividad de Selección Frontal.....	141
14.4. Componente de Negatividad de Selección (Selection Negativity, SN) .....	142
14.5. Componente P3a .....	143
14.6. Componente P3b.....	145
14.7. Componente SW .....	147
14.8. Correlación entre medidas conductuales y PREs.....	148
<b>15. DISCUSIÓN .....</b>	<b>151</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES... 163</b>	
<b>16. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>164</b>
<b>17. CONCLUSIONES .....</b>	<b>172</b>
<b>18. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....</b>	<b>175</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>178</b>

<b>ANEXOS .....</b>	<b>214</b>
---------------------	------------

<b>ANEXO I .....</b>	<b>215</b>
----------------------	------------

“Children Cautious Strategy and Variable Maturation Time Window for Responding in a Visual Search Task ”

<b>ANEXO II .....</b>	<b>230</b>
-----------------------	------------

Artículo

“Development of behavioral parameters and ERPs in a novel-target visual detection paradigm in children, adolescents and young adults”

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

## 1. INTRODUCCIÓN

Nada más admirable que observar cómo evoluciona el ser humano desde su nacimiento hasta alcanzar la edad adulta. Esta evolución, en el aspecto cognitivo, afectivo y psicológico en general, se debe al desarrollo que el cerebro humano experimenta. En él se suceden una serie de cambios fisiológicos que abarcan desde el período de vida fetal hasta aproximadamente los 25 años (Anokhin y cols., 1996). En los estudios anatómicos se muestra un crecimiento de la sustancia blanca desde la niñez hasta la adolescencia. La sustancia gris, por el contrario, tiene un proceso inverso a la sustancia blanca, primero aumenta con la edad y en la adultez disminuye (Anokhin y cols., 1996; Giedd y Jay N., 2009).

Esta evolución del cerebro comienza en áreas posteriores del mismo y progresa hacia áreas anteriores más tardíamente en el desarrollo (Hudspeth y Pribram, 1992). Se ha demostrado que las áreas frontales son las últimas en alcanzar la madurez (Sowell y cols., 2001). Gómez-Pérez y cols., (2003), también han observado que los cambios son regionales y la región prefrontal es una de las zonas que más lentamente madura en el ser humano, influyendo en el proceso de atención, memoria y proceso de inhibición. La maduración de la atención, por tanto, se debe al desarrollo estructural y fisiológico y se produce en distintas áreas del cerebro en distintos momentos de la evolución de la persona como individuo.

Nosotros, tomando el testigo de estos y otros autores que han visto la relación entre Potenciales Evocados Relacionados con Eventos (PREs) y la atención, lo vamos a aplicar en nuestro estudio de desarrollo de la atención para poder investigar cómo varía ésta desde la infancia hasta la edad adulta, cotejando dichos resultados con los que nos puedan aportar, desde una perspectiva conductual, los paradigmas de búsqueda visual y stop.

La atención es definida por García (2008, pp. 14) *“como un mecanismo que pone en marcha una serie de procesos u operaciones gracias a los cuales somos más receptivos a los sucesos del medio ambiente y llevamos a cabo una gran cantidad de tareas de forma más eficaz”*. Teniendo en cuenta esta definición y la literatura sobre la misma, para medirla y observar cómo evoluciona con la edad, aplicaremos en primer lugar los paradigmas de búsqueda visual en serie y en paralelo y la Stop Task y, en segundo lugar, relacionaremos la atención con el componente P300. Para ello estudiaremos la trayectoria de desarrollo de varios componentes incluyendo el P3a y el P3b.

En esta investigación, por medio de la técnica de Potenciales Relacionados con Eventos (PREs), valoraremos la maduración de la atención desde la infancia hasta la adultez (6-26 años). Así mismo, en esta franja de edad evaluaremos las respuestas conductuales tales como: tiempos de reacción, errores y omisiones respecto de la edad de los sujetos.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. La atención. Evolución conceptual

La atención no es un concepto nuevo del siglo pasado. Si repasamos a los clásicos nos encontramos que Platón, ateniense 427-347 a. C., así como Aristóteles, macedonio 348-322 a. C., ya mencionan el término atención y se refieren a ella como un rasgo propio del ser humano con características concretas, haciendo del término atención un concepto. Quizás el primer estudio dedicado en exclusiva al concepto de atención lo encontramos en C. Wolff en el año 1738 (Fuentes y García, 2008), que considera la atención como uno de los tópicos más importantes de la Psicología.

Desde finales del S. XIX se sucedieron las definiciones de atención y por tanto el estudio de ella. William James (1890) la definió como *"la toma de posesión por la mente, de una forma clara, viva, de uno o varios objetos o series de pensamiento que parecen simultáneamente posibles, siendo esenciales la focalización y la concentración de la conciencia"*. Su máxima atencional más conocida es: *"mi experiencia consciente es aquello a lo que yo decido atender"*. El concepto de atención para este autor es, por tanto, una respuesta adaptativa al medio que rodea a un individuo y ante la multitud de estímulos que éste recibe adquiere la capacidad, por medio de la

atención, de seleccionar aquellos que son de interés para él. James habla de atención sensorial, cuando los estímulos proceden de los sentidos y atención intelectual si los estímulos son representados o ideales. Hasta nuestros días ha llegado otra clasificación de la atención realizada por James: pasiva –si se atiende de manera refleja o involuntaria- o activa –si se atiende de manera voluntaria-.

La psicología científica se puede considerar que nace en 1879 de la mano de Wilhelm Wundt. En 1856, se traslada a Berlín y trabaja en el laboratorio de J. Müller; posteriormente trabaja en distintas universidades y más tarde se traslada a la Universidad de Leipzig (Alemania) (1875-1917), donde creó el primer laboratorio experimental de Psicología. Influido por Helmholtz, considera su objetivo hacer de la psicología una ciencia experimental autónoma. Wundt unió dos disciplinas, la fisiología y la psicología, naciendo la psicología fisiológica a la que más tarde se le llamó Psicología Experimental. Destierra el concepto de alma y considera el sistema nervioso como la base de los fenómenos mentales que son apercibidos si se originan en el foco de la conciencia, en caso contrario, es decir, si no caen dentro de este foco, simplemente son percibidos. Sin embargo la psicología de la atención no entra de forma decisiva en el ámbito de estudio de laboratorio. La prueba la tenemos en que se sigue escribiendo sobre ella a modo de reflexión.

Sin embargo, durante la primera mitad del siglo pasado la atención dejó de ocupar un papel relevante en el mundo de la psicología. La teoría de la Gestalt (configuración o forma), nacida en Alemania en 1912 y desarrollada en Estados Unidos, se basa en un marco teórico sobre leyes perceptuales y no consideró de forma importante el concepto de atención.

La teoría conductista, basada en la conducta observable, rechaza la atención como un concepto explicativo dentro de la Psicología. Máximos representantes son Pavlov, Watson (1913) –fundador de la escuela Psicológica Conductista- y Skinner – con su obra “La conducta de los organismos”- como representantes abanderados. El conductismo se basa exclusivamente en la idea de estímulo-respuesta y considera la atención dentro del mentalismo (Figura 1).



**Figura 1:** Esquema de la Teoría Conductista. Obtenida de <http://teoriaconductistamila.blogspot.com.es/>

La corriente conductista fue evolucionando y autores como Tolman (1932), Hull (1952), Berlyne (1975), Vygotsky (1978), (entre otros), la innovaron. Fueron denominados neoconductistas. Intentaron restablecer la psique y se dejaron influir por la teoría de la información. Esta nueva tendencia relaciona la atención con el aprendizaje discriminativo.

Sin embargo, fue la Psicología soviética la que tuvo en cuenta de nuevo la atención y la vinculó al Reflejo de Orientación, considerándola como la clave para la selección y orientación de la conducta. Sokolov (1963), considera que el Reflejo de Orientación juega un papel básico porque aumenta la sensibilidad de los receptores y mejora la adaptación del organismo al medio ambiente que le circunda.

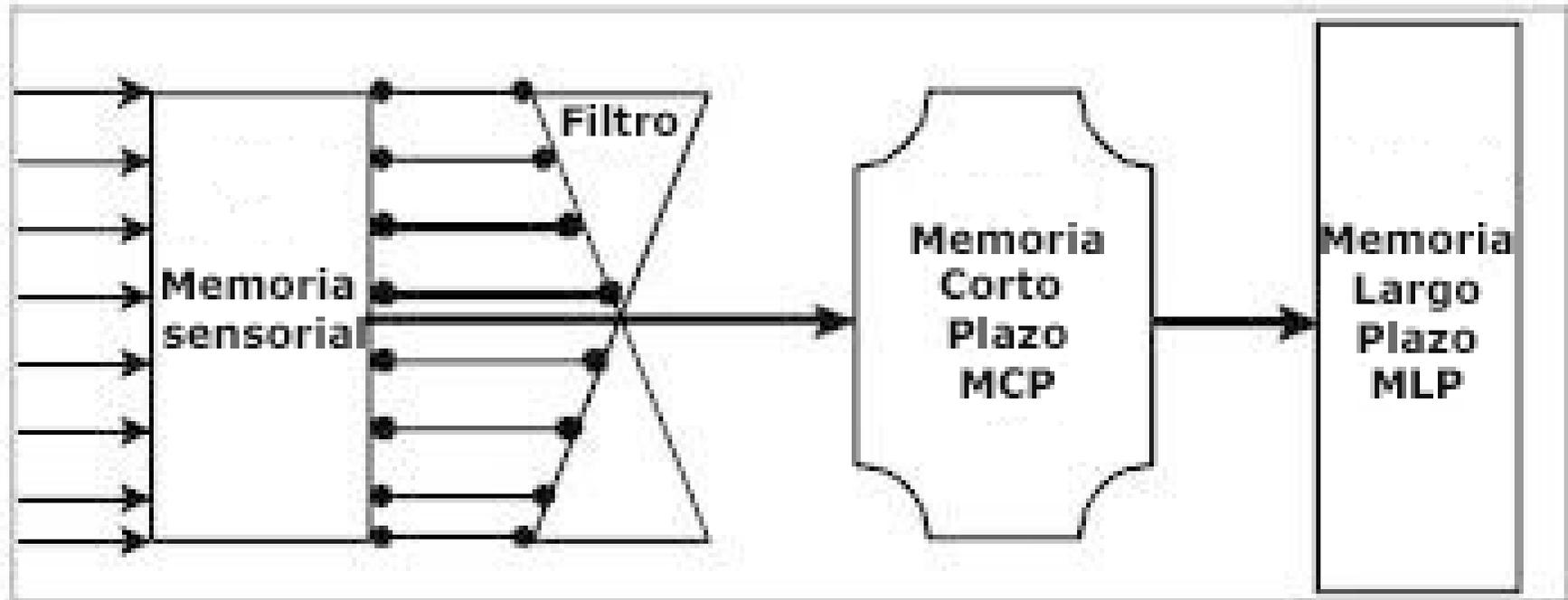
En la historia de la humanidad se van produciendo una serie de avances que son el germen de cambios sociales inevitables y ello afecta de lleno a la historia de la Psicología en particular. Por un lado, tenemos a Turing con la creación de máquinas programables y por otro, a Shannon quien concebía la información como una elección concreta frente a múltiples y diferentes alternativas. Estos avances, entre otros, hacen cuestionar que entre un estímulo y una respuesta no haya nada. Surge entonces la Psicología Cognitiva que considera que entre un estímulo y una respuesta sí median aspectos no observables.

Dentro de este nuevo marco teórico aparecen los Modelos Unitarios de Atención y dentro de estos los de filtro de un solo canal. Estos se basan en el fenómeno del Período Refractario Psicológico (Figura 2). Se origina cuando se presentan dos estímulos muy seguidos y hay que dar respuesta rápida. El sistema pasa por un período refractario cuando aparece el segundo estímulo y todavía no se ha dado respuesta al primer estímulo presentado. Se planteó entonces la posibilidad de la existencia de un mecanismo que permitía atender al primer estímulo y emitir una respuesta antes de atender y responder al segundo estímulo.

Uno de los investigadores destacados es Broadbent (1958) que desarrolló una serie de experimentos que se basaron en tareas de atención dividida (Figura 3). El sujeto tenía que atender a diferentes estímulos que recibía de manera simultánea por ambos oídos. Broadbent después de analizar los resultados, teniendo en cuenta si al sujeto se le pedía repetir una secuencia de dígitos que se le había presentado por el oído derecho y luego por el izquierdo o bien, repetirlos de manera cronológica, concluye que existe un filtro que selecciona la información que recibimos sensorialmente y que los estímulos recibidos por el canal que no se atiende en apariencia no se pierden porque existe un módulo de memoria que guarda la información recibida durante un periodo de tiempo reducido.

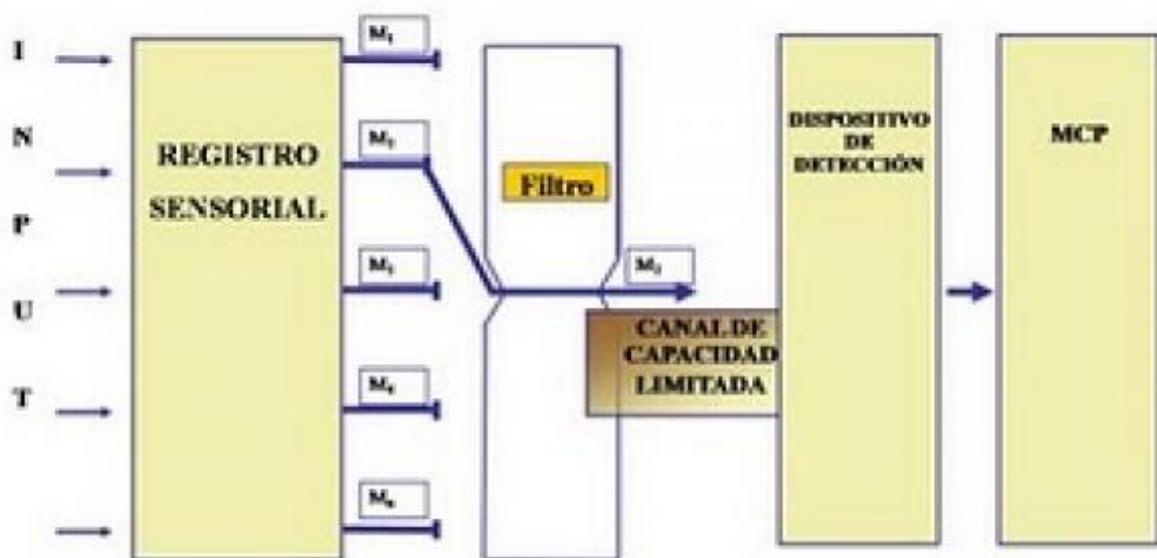


Figura 2: Esquema del modelo Refractorio Psicológico. Obtenido de <http://core.psykia.com/1/2/7/webdata/6/5>



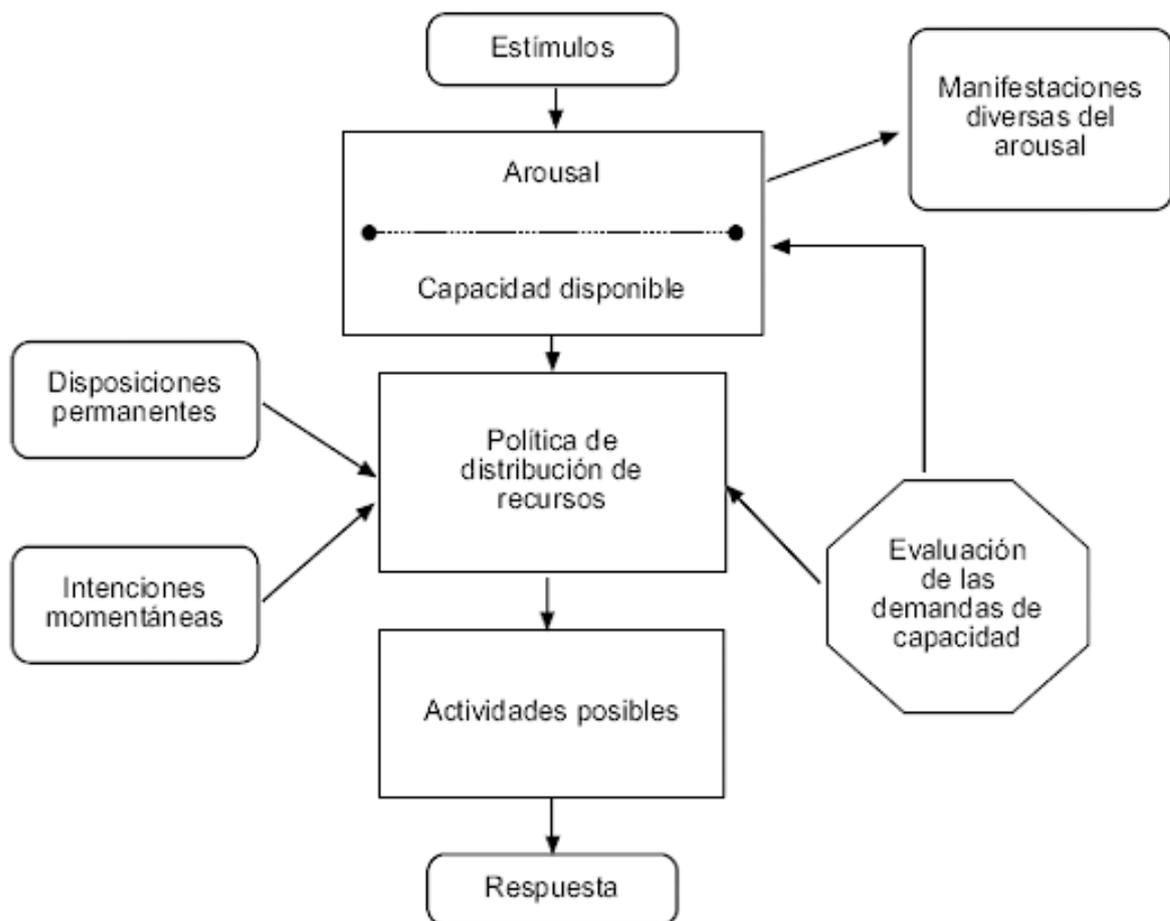
**Figura 3:** Representación gráfica del primer modelo de Filtro Rígido de Broadbent. Obtenido de [http://www.uhu.es/jose.alameda/apm2006/tema1\(06-07\).pdf](http://www.uhu.es/jose.alameda/apm2006/tema1(06-07).pdf)

Treisman realizó una serie de experimentos para descartar si las limitaciones de la atención se debían verdaderamente a un filtro o bien a la memoria a largo plazo (MLP). Para ello, varió el número de dígitos a recordar y observó que los resultados obtenidos por Broadbent no estaban afectados por la MLP. También observó en estos experimentos que la información que se recibía por el oído no atendido no era totalmente ignorada y tenía un significado relevante para el sujeto, de hecho, si escuchaba éste su nombre o algo relevante para él, capturaba su atención. Estas observaciones le llevaron a modificar el modelo de filtro rígido de Broadbent por otro tipo de filtro en el cual la información no atendida no es ignorada, sino simplemente atenuada (Figura 4).



**Figura 4:** Modelo de Filtro Atenuado de Treisman. Obtenido de [core.psychia.com/1/2/7/webdata/101/3](http://core.psychia.com/1/2/7/webdata/101/3)

Otro estudio que pone de relieve la capacidad limitada de la atención es el que realiza Cherry. Cherry (1953) y Cherry y Taylor (1954), utilizaron la técnica de sombreado (el sujeto recibe dos mensajes distintos, uno por cada canal auditivo) y comprobaron que los sujetos recordaban bien el mensaje relevante (mensaje atendido) y tenían dificultad para recordar el mensaje no relevante (mensaje no atendido). Sin embargo podían detectar cambios físicos (Figura 5).



**Figura 5:** Modelo de Kahneman (1973). Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1657-92672006000200009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-92672006000200009)

Estos modelos se enfrentan a varios problemas. Uno de ellos es dónde ubicar el filtro. Para Broadbent y Treisman, el filtro seleccionaría los estímulos de manera previa a la percepción de los inputs. Sin embargo, autores como Deutsch y Deutsch (1963), Shiffrin y Schneider (1977), encontraron pruebas que afirmaban lo contrario: primero se procesaba perceptualmente y a posteriori se filtraba y seleccionaba. Esto explicaría que la información semántica del mensaje influye en el recuerdo y a posteriori el sujeto la pueda recordar, por tanto explica que el mensaje había sido procesado perceptualmente. El segundo problema alude a la capacidad limitada del canal.

Kahneman (1973) ofrece una solución a este dilema: los recursos de procesamiento son limitados y distribuibles. Algunos autores han llamado a la teoría de este autor "*teoría de extender la mantequilla*", porque la atención se puede extender respecto de las tareas como la mantequilla sobre el pan. Kahneman habla también de la relación entre capacidad para atender y esfuerzo. Su teoría trata de los aspectos intensivos y selectivos de la atención. Para él existe una capacidad limitada de trabajo mental que se distribuye entre las distintas tareas a realizar. A esta capacidad la denomina *esfuerzo*. Esta limitación para el trabajo mental no se debe al canal del sistema perceptual sino que dependería de:

1. La dificultad de la tarea a ejecutar.

2. De la cantidad de procesamiento que invierte en los estímulos que no debe atender con respecto a los recursos de procesamiento que invierte en los que debe atender (relevantes para la tarea).

Desde este esquema se explica que se puede atender a varias tareas al mismo tiempo a través de varios canales sensoriales.

Norman y Bobrow (1975), partiendo de la teoría de Kahneman, proponen el concepto de *recurso*. Para estos autores, las limitaciones de la capacidad no vendrían del canal perceptual sino de la dificultad de la tarea y de la capacidad de procesamiento que se ha dedicado a las tareas secundarias (pues en las tareas duales se atiende a las dos tareas). Realizaron tareas duales y representaron los resultados en curvas denominadas "*Performance Operating Characteristics*" (POC).

Navon y Gopher (1979) desarrollan la teoría de "*Modelos de Capacidades Múltiples*". Supusieron que las limitaciones de tarea podían ser debidas o bien a los datos o a los recursos. Si una tarea está limitada por los datos y la otra por los recursos, se origina una interferencia asimétrica y se evidencia que el rendimiento disminuye sólo en la tarea limitada por los recursos. Si las dos tareas están limitadas por los recursos, se produce una interferencia simétrica y el rendimiento disminuye en ambas tareas. Por último, cuando las tareas están limitadas por los datos su realización no produce

interferencias. Tal y como dijo Kahneman, no existe un procesador central con una única fuente de recursos.

Allport (1980), también apuesta por un modelo de atención de capacidad limitada pero basándose en el concepto de *Canales Múltiples*, donde cada tipo de procesamiento, dependiendo del tipo de tarea que realice el sujeto, poseería un recurso atencional. Para realizar estas afirmaciones se basa en múltiples ejemplos: para un músico profesional, tocar el piano y leer un texto en prosa; leer mientras sumas números presentados auditivamente; etc. Estas tareas que llevó a cabo con distintos sujetos le permitieron afirmar que se pueden ejecutar tareas complejas de manera simultánea y que el problema para ejecutarlas puede deberse a que las tareas comparten el mismo sistema o modalidad y la ejecución de éstas entran en conflicto. Allport rechaza el concepto de capacidad limitada (recursos disponibles) y plantea una limitación causada por los múltiples canales que procesan los estímulos o inputs.

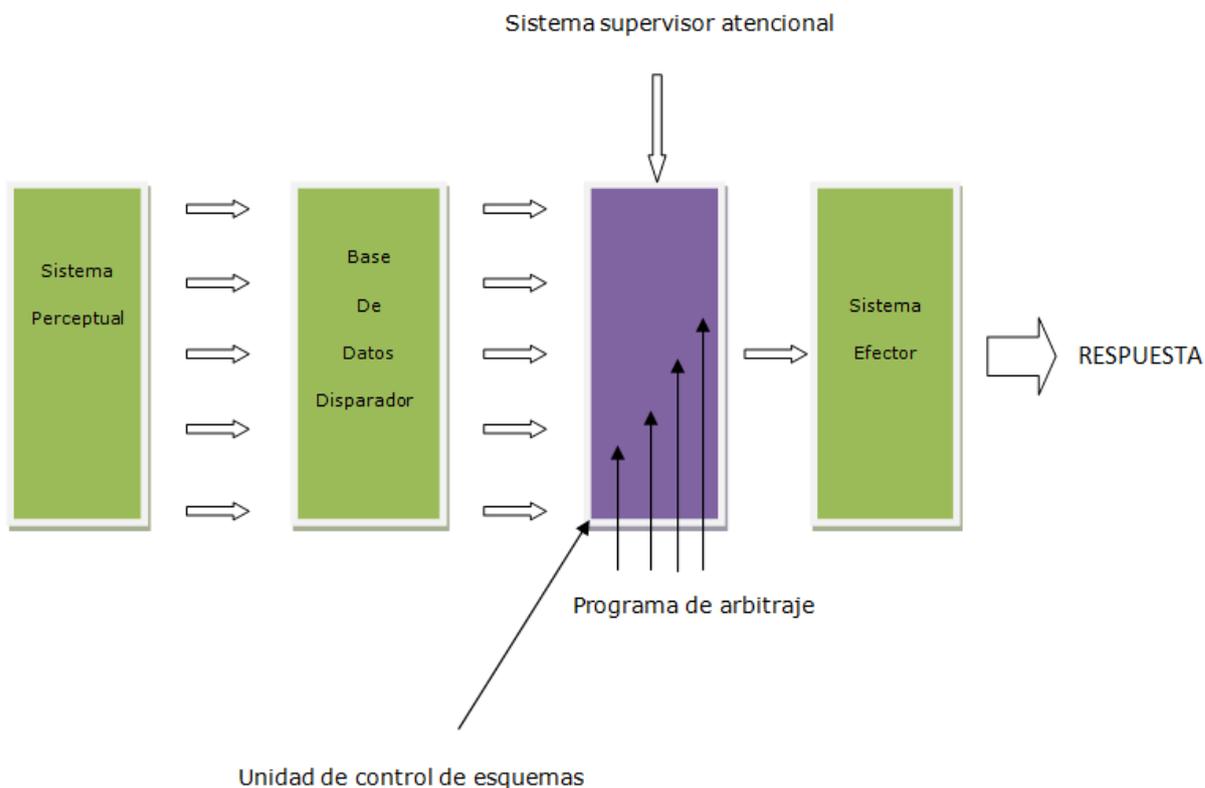
En 1986, Norman y Shallice hablan del modelo de *Control Voluntario y Automático de la Atención*. El objetivo de su trabajo es explicar cómo interviene la atención en el control de la acción, tanto si ésta es automática o se produce bajo control voluntario o premeditado, porque dependiendo del tipo de control, así será el mecanismo que las rija. Distinguen tres maneras distintas de acción:

1. Automática.

2. Parcialmente automática.

3. Consciente.

Si la acción es automática, el mecanismo que interviene en el control son los esquemas previos que se tenga sobre la misma. Las acciones parcialmente automáticas se controlan por los mecanismos de contención o "dirimidor de conflictos" (contention shedding); y por último si las acciones son conscientes interviene un mecanismo denominado Sistema Atencional Supervisor (SAS). Es decir, si las acciones que se están ejecutando se realizan de manera automática, no se toma conciencia de los procesos implicados en la misma y este proceso automático puede perturbar la acción al entrar en conflicto con otras acciones. Para que esto no suceda, el dirimidor de conflictos interviene seleccionando uno de los esquemas activados y evita el conflicto en la ejecución de la acción. Si la acción que se está ejecutando no es rutinaria el dirimidor de conflictos no sirve. En este caso, se necesita un sistema de control adicional que presente programas de planificación variados y que pueda operar en cualquier dominio (SAS) (Figura 6).



**Figura 6:** Modelo de Control Atencional de Norman y Shallice, 1986.

En este apartado se comprueba cómo el concepto de atención ha evolucionando con el tiempo. De la teoría de filtros a la de recursos limitados y ahora a un concepto de mecanismo de control fuera del procesamiento de la información. Dentro de este nuevo marco teórico ha cobrado mucha fuerza el modelo de Posner, que considera la atención como un conjunto de redes neuronales que procesan la información. Considerando el peso que tiene este autor en la neurociencia cognitiva de la atención, se desarrollan sus aportaciones en el apartado 2.2.

## 2.2. Redes atencionales neuronales. Bases neurológicas

Al hablar de redes atencionales se considera que la atención no es una unidad, sino que está compuesta por módulos, cada uno de ellos con una especialización (Posner, 1980). Esto es lo que se ha venido en llamar *Redes Neuronales Atencionales* (Posner y Petersen, 1990; Posner y Raichle, 1994).

El modelo de Posner (Figura 7) parte de tres presupuestos:

1. La existencia de tres redes neuronales: red de alerta, red de orientación, y red ejecutivo central. Estas redes están estrechamente relacionadas entre sí pero son independientes anatómicamente.
2. Este conjunto de redes neuronales son independientes anatómicamente de otros sistemas de procesamiento de datos.
3. Cada red neuronal tiene su propio mecanismo de procesamiento de datos y funciones específicas diferentes.

## Red de Alerta

Esta red parece presentar en el cerebro una asimetría, estando más involucrada el área frontal derecha (Posner y Petersen, 1990). Su función es la de mantener un nivel de arousal suficiente para captar a la mayor velocidad posible un estímulo. Se manifiestan dos tipos de alerta:

1. Tónica o duradera, propia de los estados de vigilancia prolongados.
2. Fásica, que corresponden a períodos de tiempo pequeños mientras se espera la inminente llegada del estímulo.

Diversos estudios realizados en esta red encuentran que la señal de alerta nos hace más rápidos a la hora de emitir una respuesta, sin embargo, el número de errores se incrementa. Se concluye que la señal de alerta no mejora la velocidad de procesamiento (Posner, 1978).

En la red de alerta están implicados el locus coeruleus y los córtex frontal y parietal. El estado de alerta se relaciona con el circuito fronto-parietal, demostrado en estudios realizados por Marrocco y Davidson (1998). Estos autores trabajaron con monos a los que les suministraron clonidina reduciendo la activación noradrenérgica por el antagonismo de estas dos sustancias, y observaron el decaimiento de la red. También se ha observado lo

anterior en pacientes con afectación del lóbulo frontal y parietal derechos, encontrando estos sujetos muchísimas dificultades para mantener la alerta de forma sostenida e incluso sin señales de aviso en períodos cortos.

Lawrence y cols., (2003), encontraron que la activación de la red de alerta implica la desactivación de áreas del cerebro que están estrechamente relacionadas con lo cognitivo y lo emocional. Esto es algo que cualquier persona puede comprobar en sus experiencias del día a día. Si nos encontramos muy centrados en la realización de una tarea o influidos por un fuerte estado emocional, somos conscientes de no prestar atención a estímulos que se desencadenan a nuestro alrededor, o viceversa cuando recurrimos a la expresión hecha "tengo la cabeza en otro sitio".

### **Red de Orientación**

Es la responsable de la dirección de la atención para buscar la información relevante. Normalmente estos cambios atencionales, que escudriñan distintas regiones del espacio, suelen principalmente realizarse con movimientos oculares (relacionada por tanto con la orientación viso-espacial) (Posner, 1996). Una característica de la red de orientación es la *orientación encubierta* en la que no es menester

realizar movimientos oculares para dirigir la atención de un lugar a otro.

En la red de orientación también hay que destacar la *inhibición*. Posner y Rothbart (1998), estudiando la orientación encubierta encuentran dos tipos de inhibición:

1. Inhibición de coste, como consecuencia de orientar la atención hacia la señal indicada y quedar las otras posibilidades anuladas (desconocemos dónde aparece el estímulo objetivo).
2. Inhibición de retorno, si la posibilidad de volver la atención a la señalización anterior hace perder unos milisegundos con respecto al hallazgo de otras localizaciones espaciales (Posner y Cohen, 1984; Maylor, 1985). Se puede resumir diciendo que es una especie de sesgo hacia lo novedoso, implicando a la atención y al sistema oculomotor (Klein, 2000).

Esta red se encuentra distribuida por el circuito frontoparietal, cerebro medio, núcleo pulvinar y colículo superior.

En pacientes que presentan síndrome de negligencia visual ha quedado de manifiesto la implicación del lóbulo parietal. Estos resultados han sido avalados por otros estudios de neuropsicología, los desarrollados por Corbetta y cols., (1993), que utilizaron la técnica de TEP (Tomografía por Emisión de Positrones).

Las áreas de este circuito frontoparietal como otras que pertenecen al cerebro medio están también implicadas en el efecto de Inhibición de Retorno (IOR). Para Colmenero y cols., (2001), la IOR, *“consiste en un enlentecimiento de la capacidad para procesar un estímulo objetivo presentado en una localización atendida previamente, ya sea de manera manifiesta o encubierta”*.

Comenzaba la explicación de la red de orientación exponiendo que es la responsable de dirigir la dirección de la atención para buscar la información relevante y concluye que los colículos superiores así como los campos oculares frontales están incluidos en el circuito frontoparietal.

La implicación del cerebro medio en la red de orientación se ha puesto de manifiesto al estudiar pacientes con parálisis supranuclear progresiva (PSP). Los resultados obtenidos con estos pacientes se compararon con los que padecen Parkinson y de ahí se siguieron los resultados que evidencian la implicación en esta red del cerebro medio (Rafal y cols., 1988). También se ha podido comprobar que está implicado en el efecto IOR (Efecto de Inhibición de Retorno).

Rafal y Posner (1987) estudiaron pacientes talámicos y observaron la relación del núcleo pulvinar con la red atencional. Descubrieron que este núcleo participa en la focalización de la atención, mejorando el procesamiento del estímulo que ha sido seleccionado e ignorando los estímulos distractores.

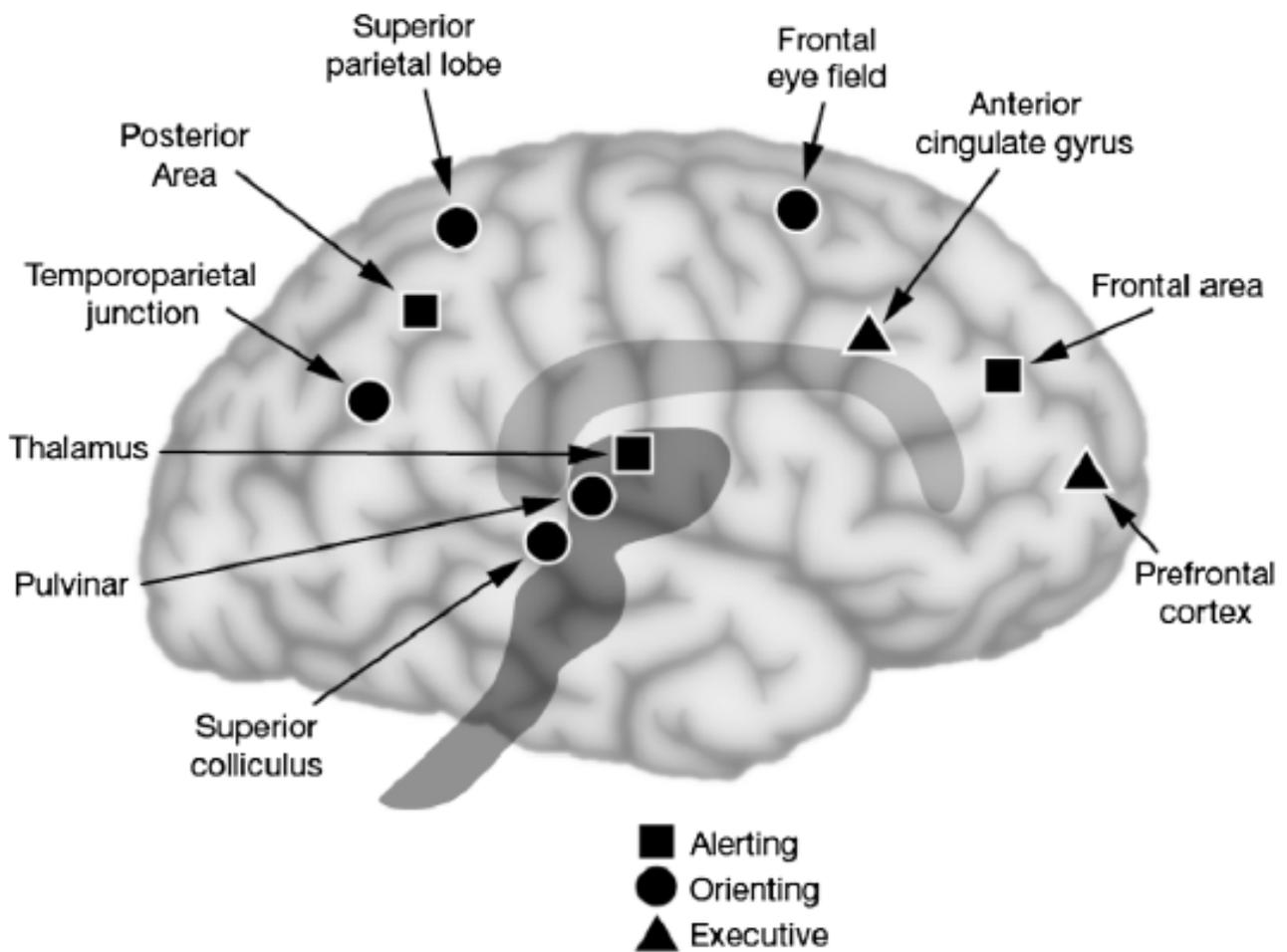
## **Red Control Ejecutivo**

Encargado de organizar la planificación de proyectos y desarrollar estrategias necesarias para abordar situaciones nuevas para el sujeto (Posner y Raichle, 1994). Se ha puesto de manifiesto también que esta red está estrechamente relacionada con los procesos de detección consciente de los estímulos (Posner y Dehaene, 1994). Los estudios realizados con neuroimagen nos dan un mapa fidedigno de las regiones cerebrales implicadas en este control ejecutivo, y éstas son el área dorsal del córtex cingulado anterior, el área motora suplementaria y el córtex prefrontal así como los ganglios basales (Duncan y Owen, 2000). Estudios realizados por Corbetta y Shulman (2002) manifiestan indicios de un subsistema que abarca la unión temporoparietal y el córtex frontal inferior del hemisferio derecho. La misión de ambos, córtex temporoparietal y córtex frontal, sería la de detectar todas aquellas situaciones novedosas y estímulos que se presentan de forma inesperada. El desarrollo de expectativas estaría a cargo del córtex intraparietal y el córtex frontal superior.

Corbetta y cols., (2000) estudiaron la unión temporoparietal y el surco intraparietal mediante la utilización de TEP. Los resultados demostraron que el circuito frontoparietal estaba implicado en la orientación de la atención endógena, reflejando un proceso de arriba-

abajo en la activación de la atención antes de que se presentara el objetivo. Una vez presentado, éste activó la unión temporoparietal del hemisferio derecho. Asimismo, Corbetta y Shulman (2002) estudiando los factores que intervienen en la atención visual (top-down, bottom-up así como los estímulos novedosos), encontraron que existe una interacción o influencia entre los aspectos cognitivos y sensoriales y está controlada por dos sistemas neuronales parcialmente segregados:

1. El sistema dorsal posterior parietal y córtex frontal, responsable de la selección cognitiva de la información sensorial así como de las respuestas que se emiten.
2. El sistema temporoparietal y cortex frontal, lateralizado a lo largo del hemisferio derecho, que se activa cuando se detectan eventos sensoriales de interés novedosos.



**Figura 7:** Redes neuronales de la atención. Obtenida de Toward a physical basis of attention and self-regulation (2009). *Physics of Life Reviews* 6(2), 103–120. Michael I. Posner, Mary K. Rothbart.

### **2.3. Tipos de atención**

Tradicionalmente la atención se ha dividido en dos tipos o categorías, la pasiva o automática o la selectiva o activa (Carretié, 2001). Tanto una como la otra tienen como misión procesar o rechazar sucesos internos o externos a la persona.

#### **2.3.1. Atención pasiva o automática**

La atención pasiva se produce de forma involuntaria, es decir de manera automática, hacia estímulos de los cuales no somos conscientes o hemos decidido no atender. Están relacionados con la adaptación del organismo al medio y la supervivencia (Carretié, 2001). Este tipo de atención origina cambios de distintos tipos como:

1. Cambios motores: son Reflejos de Orientación (RO), aparecen en ojos y/o cabeza. Permite que los órganos sensoriales que intervienen se dirijan hacia la fuente del estímulo.
2. Cambios autonómicos: se originan en ciertas partes del organismo y no tienen que implicar a otros.

3. Electro dérmicos: son los que mejor permiten estudiar la RO (Reflejo de Orientación o Respuesta de Orientación) (Öhman y cols., 1993). Dependen de la acción de las glándulas sudoríparas.
  
4. Cardiovasculares: lo regula el Sistema Nervioso Autónomo (SNA).

### **2.3.2. Atención selectiva o activa**

La atención selectiva es definida por Portas y cols., (1998) *como la "habilidad para atender a una fuente de información ignorando otras"*.

Este tipo de atención es la que se presta de forma voluntaria a estímulos que el individuo escoge, entre otros, por razones concretas. Realiza dos tipos de análisis: uno, basándose en sus características (localización espacial, color, forma, brillo, etc.) (Carretié, 2001), y otro, semánticamente. Está relacionada con la cantidad de carga perceptual que contiene el estímulo (Lavie, 1995) y evita, con la selección que realiza, que se produzcan sobrecargas de información. Deutsch y Deutsch (1963) proponen que realiza un procesamiento en paralelo sin necesidad de seleccionar.

La selección de los estímulos, analizando sus características, se lleva a cabo en un conjunto de redes neuronales en las que se aprecian las regiones del córtex parietal y temporoparietal (Corbetta y cols., 1998; Gitelman y cols., 1999; Arrington y cols., 2000). Si atendemos a su análisis semántico, intervienen redes neuronales del giro de cíngulo anterior y algunas regiones del córtex prefrontal (Posner y Raichle, 1994; Ziegler y cols., 1997; Barch, y cols., 2000).

#### **2.4. Tipos de atención según García-Sevilla**

En la actualidad, se considera un número mayor de posibilidades de clasificación de los procesos atencionales. García-Sevilla (2008) los clasifica en:

1. Selectiva, dividida y sostenida: hace referencia a los procesos que realiza la actividad mental para fijar la atención y mantenerla, como son la selección, división y mantenimiento.
2. Externa e interna: dependiendo si la dirigimos al medio ambiente o hacia nosotros mismos.
3. Visual y auditiva: dependiendo si los estímulos nos llegan por unos órganos sensoriales u otros.

4. Atención global y selectiva: la atención global analiza las estructuras organizadas de una tarea, la selectiva analiza las partes de que consta esa información o tarea.
5. Abierta y encubierta: sustituyen a los términos de atención externa e interna. Su denominación moderna se debe a Posner (1978) y se refiere a la atención directamente observable o a la no directamente observable.
6. Consciente e inconsciente: la atención consciente hace referencia a la atención que prestamos a algo y somos conscientes de haber atendido. La atención inconsciente se refiere aquella atención habitual que realizamos sin ser consciente y es típica en acciones rutinarias.

## **2.5. Desarrollo de la atención en niños**

Como se ha dicho anteriormente, la atención evoluciona de manera gradual y depende de la edad de los individuos. A mayor edad de un sujeto, mayores son las habilidades atencionales que ha desarrollado. A continuación se reflejan las habilidades atencionales que los sujetos de menor edad no han desarrollado respecto de los adultos (García Sevilla, 2008, pp. 177):

- ✚ Menor flexibilidad para orientar la atención adecuadamente.
- ✚ Mayor lentitud en los cambios de atención.

- ✚ Menos capacidad para atender a la información relevante.
- ✚ Mayor susceptibilidad a la distracción.
- ✚ Dificultades para mantener la atención.
- ✚ Menor control atencional.

La atención juega un papel fundamental en la infancia porque procesa la información sobre el mundo que el bebé percibe (García Ogueta, 1994). En los bebés, los reflejos de orientación y los reflejos defensivos son las manifestaciones más primitivas de atención que se conoce (Vasta y cols., 1999). El primer autor en hablar de reflejos de orientación fue Sokolov (1960). Se entiende por reflejo de orientación, los cambios en la conducta que adopta un bebé al seguir luces en movimiento, escuchar sonidos de baja frecuencia (Haith, 1966; Kearsley, 1973). También se ha observado que existen estímulos que al bebé le resultan hostiles, como por ejemplo ruidos muy intensos. En estos casos reacciona con agitación, aumento del ritmo cardíaco, llanto, etc. A esta reacción defensiva se le denomina Reflejo Defensivo (Kearsley, 1973).

Estas limitaciones en el desarrollo que posee el bebé al nacer condiciona el estudio de la atención. Los estudiosos muestran mayor interés por la atención selectiva del bebé, es decir, la capacidad que éstos muestran para concentrarse en un estímulo más que en otro por resultarle más atractivo (Vasta y cols., 1992). Se ha comprobado

que los bebés prefieren mirar imágenes de brillo medio a las de brillo extremo (Hershenson, 1964; Hershenson y cols., 1965) y también prefieren láminas con dibujos a láminas carentes de ellos (Fantz, 1963).

Si nos atenemos a todo lo expuesto anteriormente, observamos que no terminamos de aterrizar y comprender cómo funciona verdaderamente la atención en el bebé. Kagan (1970) responde a estas dudas y considera que los bebés desde sus primeras horas de vida hasta los tres meses, aproximadamente, atienden a figuras que presentan movimiento y contornos diferenciados. De los 3 a los 12 meses aprecia Kagan que atienden a hechos o situaciones que se apartan de lo normal para ellos, o que ya conocen. Este investigador comprueba que si se les muestran caras regulares y distorsionadas fabricadas con arcilla, los bebés muestran más interés por las distorsionadas. A partir de los 12 meses prestan atención a todo aquello que les incita a adivinar qué sucede (Kagan, 1970). A medida que los niños crecen y desarrollan sus capacidades se observa que la atención evoluciona y se centra no sólo en los estímulos externos que percibe de su medio ambiente, sino que desarrolla una autorregulación que tiene como base los objetivos del sujeto, sus intenciones e intereses.

Podemos resumir el desarrollo de la atención con la edad siguiendo a Flavell (1985), que distingue:

- A medida que aumenta la edad, los sujetos controlan la atención mejor y disminuye la distracción propia de los primeros años.
  
- Los niños a mayor edad centran mejor la atención en una tarea y dejan a un lado lo irrelevante. Los niños muy pequeños -entre 5 y 7 años- no desdeñan lo irrelevante de la tarea (Hagen y Hale, 1973; Hale, 1979).
  
- Vurpillot (1968) comprueba que a medida que aumenta la edad los niños planifican las acciones, por tanto es un avance en la atención. El autor constata cómo niños de distintas edades comparan imágenes para averiguar si son o no iguales. Los más pequeños realizan una comparación fortuita, sin embargo, a medida que la edad aumenta, comprueba que éstos cotejan las imágenes detalle a detalle.
  
- Los niños de mayor edad ajustan sus estrategias de atención a la dificultad de la tarea que ejecutan. Day (1975) comprueba cómo leen grupos de sujetos y comprueba que los mayores disminuyen la velocidad

lectora si aumenta la dificultad del texto; los pequeños no varían la velocidad aunque la dificultad del mismo aumente.

Vega (1984) y Bermejo (1987), se plantean si verdaderamente existe un desarrollo atencional propiamente dicho o por el contrario lo que tenemos es un desarrollo cognitivo que comprende a la atención. Autores como Lane y Parson (1982) no comparten la idea y ellos consideran que existe un desarrollo atencional propiamente dicho. La diferencia entre la atención de los niños y la de los adultos, para ellos, radica en la distractibilidad que poseen los pequeños por su falta de control respecto de los adultos. Otros autores como Odom (1982) consideran que existe un desarrollo de los procesos cognitivos y con ellos de la atención. Una vía intermedia la sostiene Hagen y Wilson (1982), al considerar que la maduración de los procesos cognitivos y atencionales discurre de forma paralela.

Se pone de manifiesto que la atención se desarrolla y madura a medida que los sujetos crecen. Con la edad, el desarrollo madurativo de las funciones cerebrales cambia y la capacidad atencional también. Ello hace que para conocer su desarrollo en las distintas etapas madurativas, se tengan que establecer unos criterios.

Se han establecido que en los dos primeros años de vida el estudio de la atención se lleva a cabo comprobando la forma en la que el

bebé explora el medio que le rodea y teniendo en cuenta la fase de inicio, mantenimiento y cese. Entre los dos y cuatro años, los niños atienden especialmente a las características atrayentes de los objetos, pasando el factor novedad a un segundo plano y a partir de la edad escolar los niños desarrollan un control sobre la atención y maduran la capacidad de reflexión (García, 2008; Rueda y cols., 2003).

## **2.6. Señales EEG**

Los PRES provienen de la promediación ligada a estímulos o respuestas de las señales electroencefalográficas (EEG). El EEG está ocasionado por una corriente eléctrica originada por un cambio de potencial en la células (Orozco y cols., 2009). Se atribuye a las corrientes generadas en las dendritas apicales de las células piramidales la generación del EEG. Las señales generadas se recogen en el cuero cabelludo a través de unos electrodos no invasivos. En nuestro estudio hemos utilizado un gorro estandarizado y 36 canales situados en lugares estratégicos. Las señales originadas por estas células son sumativas, al generarse una sincronización en la excitación de un número de neuronas, y generan una gran amplitud. Sus amplitudes oscilan desde algunos microvoltios hasta 100  $\mu\text{V}$  aproximadamente y una frecuencia

entre 0.5 y 50 Hz. Aunque actualmente se han descrito componentes significativos de frecuencias mucho más altas.

El registro EEG nos permite desvelar distintos tipos de patologías cerebrales así como el aspecto cognitivo.

### 2.6.1. Características del EEG

Un registro electroencefalográfico nos muestra ondas. Al conjunto de amplitudes y frecuencias se le denomina ritmo de una onda o ritmo del EEG. Este ritmo clasifica a las ondas dependiendo de la frecuencia en:

- ✚ Ondas de frecuencia Delta ( $\delta$ ): menos de 4 Hz.
- ✚ Ondas de frecuencia Theta ( $\theta$ ): oscilan entre 4 y 7 Hz.
- ✚ Ondas de frecuencia Alfa ( $\alpha$ ): oscilan entre 8 y 13 Hz.
- ✚ Ondas de frecuencia Beta ( $\beta$ ): oscilan entre 14 y 30 Hz.
- ✚ Ondas de frecuencia Gamma ( $\gamma$ ): mayores de 30 Hz.

Las ondas de alta frecuencia están asociadas a baja amplitud e indican alta actividad cerebral, es decir, el cerebro está en fase de alerta o en estado REM, si las frecuencias son bajas la amplitud de las ondas crece y eso indica que el cerebro se encuentra en una fase de

baja actividad, como por ejemplo ocurre en el sueño lento. La explicación es lógica, si existe una gran actividad cerebral implica la activación de un gran número de neuronas que procesan la información recibida y, por tanto, están desincronizadas, el resultado es una baja amplitud. Si por el contrario no están recibiendo una gran cantidad de información, las neuronas se encuentran en una fase de sincronización aumentando la amplitud y disminuyendo la frecuencia.

## **2.7. Potenciales Evocados Relacionados con Eventos (PREs).**

Los PREs son un tipo de potencial que se emite cuando los sujetos responden y analizan estímulos sensoriales (auditivos, visuales y somatosensoriales) o responden con movimientos. Sutton (1965) ya observó que al presentar un estímulo se emitía un gran potencial de amplitud variable, denominado P300. Se origina alrededor de los 300 milisegundos posteriores a la presentación del estímulo. Las respuestas neurofisiológicas se registran en el cuero cabelludo. La aparición del estímulo provoca típicamente dos ondas negativas ( $N_1$  y  $N_2$ ) y otras dos ondas positivas ( $P_1$  y  $P_2$ ) y posteriormente el P300. Se considera que son numerosas las fuentes que generan el P300: hipocampo, parietal, frontal y alguna otras áreas como el córtex temporal (Basar-Eroglu y cols., 1992).

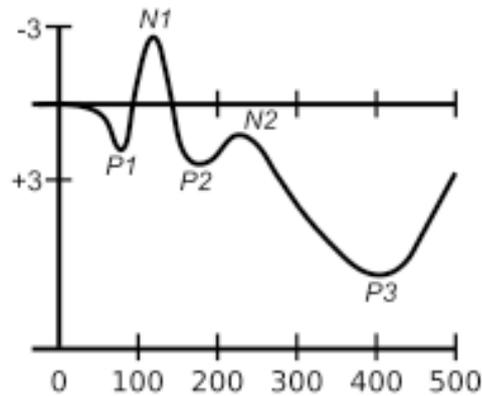
Estos PREs nos proporcionan información relativa a los procesos que se generan en nuestro cerebro ante la presencia de un estímulo. Dentro de los PREs, los componentes endógenos nos muestran información sobre las funciones cognitivas y por tanto sobre la atención, el centro de interés de este estudio. Son varios los componentes que originan los PREs, nosotros nos vamos a ceñir a los que nos interesan en nuestra investigación.

## **2.8. Descripción de los distintos PREs**

### **2.8.1. Componentes P100 Y N100**

Es el primer componente que nos encontramos al procesar un estímulo. También se le conoce como P1 (Figura 8). Se caracteriza porque aparece alrededor de los 100 ms después de haber presentado el estímulo. Nos proporciona información sobre la capacidad cognitiva de la atención y las posibles alteraciones de las vías sensoriales. Es una onda de valor positivo y alcanza su mayor amplitud ante los estímulos atendidos.

Inmediatamente después, entre los 140 y 200 ms respectivamente, aparece otro componente denominado N100 o N1, de valor negativo y en el cual podemos apreciar una serie de modulaciones.



**Figura 8:** Gráfica representativa de los componentes P1 y N1. El eje de abscisa representa el tiempo (ms) y el de ordenada el potencial ( $\mu\text{V}$ ). Obtenida de [https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_N1](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_N1)

Su mayor amplitud se origina cuando aparece un estímulo atendido, al igual que ocurre con el componente P1.

En distintos estudios se ha comprobado una diferencia en los componentes P1 y N1 según se atiende a características de los estímulos viso-espaciales o características físicas. Si se analizan estímulos atendidos viso-espaciales se origina un aumento en la amplitud de P1 y N1, a diferencia de lo que ocurre, si se trata de estímulos no atendidos. Sin embargo, si en vez de analizar el estímulo en relación al espacio lo que se analiza son sus características físicas: color, tamaño, forma, etc., el componente N1 se presenta más tardíamente y se modula a través de la *Negatividad de Selección (Selection Negativity) (SN)*, también denominada en ocasiones como negatividad de procesamiento. Se observa en la onda de sustracción de los PRES generados por el estímulo a seleccionar

menos los PREs generados por los estímulos que hay que descartar (Hillyard y Anllo-Vento, 1998).

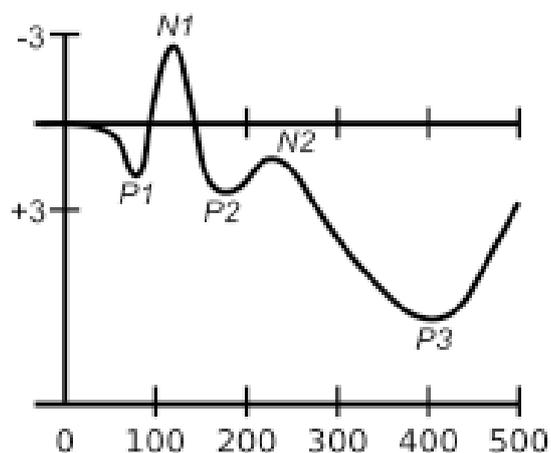
Otra observación a destacar es la que surge en el paradigma atencional que han seguido los grupos de Hillyard y Posner, donde aparecen señales válidas e inválidas para localizar el estímulo objetivo. Si presentamos a los sujetos señales válidas, las amplitudes de los componentes P1 y N1 muestran un aumento de la amplitud respecto de la presentación de señales inválidas (Mangun y Hillyard, 1995). Ante la presentación de señales válidas, inválidas y neutras se observa que el componente P1 muestra similitud de amplitud para las señales válidas y neutras. El componente N1, por el contrario muestra igualdad de amplitud para las señales inválidas y neutras. La amplitud del componente P1 disminuyó para las señales inválidas y la de N1 aumentó para las señales válidas. De aquí se deduce que el componente P1 tiene un coste para las señales inválidas y el componente N1 un beneficio para las señales válidas (Coull, 1998). Es decir, P1 está asociada con la reducción del ruido y N1 con la ganancia sensorial (Coull, 1998; Worden y cols., 2000).

El área cerebral que genera el componente P1 es el giro fusiforme, en la corteza extraestriada lateral (Gómez y cols., 1994; Clark y cols., 1996; Di Russo y cols., 2002). El componente N1, debido a las modulaciones que lo forman, no deja ver con claridad cuáles son las áreas que lo generan, parece ser que están implicados

la corteza visual extraestriada y el plano temporal superior (Gómez y cols., 1994; Clark y Hillyard, 1996; Di Russo y cols., 2002). Algunos de estos autores consideran la posibilidad de que el componente N1 comparta con el P1 áreas cerebrales como regiones de córtex parieto-occipital dorsal (Clark y cols., 1995; Clark y Hillyard, 1996; Di Russo y cols., 2002).

### 2.8.2. Componentes P200 y N200

A los 200 ms aproximadamente de la aparición del estímulo se genera una onda positiva denominada componente P200 o P2 (Figura 9).



**Figura 9:** Gráfica representativa de los componentes P2 y N2. El eje de abscisa representa el tiempo (ms) y el de ordenada el potencial ( $\mu\text{V}$ ). Obtenida de [https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_N1](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_N1)

Se ha observado una diferencia en la amplitud dependiendo del tipo de estímulo. Si se presenta a los sujetos un estímulo poco frecuente, se observa una mayor amplitud de onda (Carretié y cols., 2004). También se ha observado que la amplitud está relacionada con las características físicas del estímulo presentado y de la relevancia que el sujeto le asigne con independencia de que tenga que detectarlo o ignorarlo (García-Larrea y cols., 1992; Wunderlich y cols., 2001; Crowley y cols., 2004).

El posible origen cognitivo del P2 no está bien determinado. Por un lado, se considera que se activa cuando los sujetos analizan estímulos repetitivos no relevantes para la tarea que se les ha pedido y dónde no se necesita de un análisis cognitivo (García-Larrea y cols., 1992; Díaz y Amenedo, 2001). Otros autores consideran que se activa cuando entre estímulos repetitivos aparece el estímulo objetivo y se analiza cognitivamente (García-Larrea y cols., 1992; Potts y Tucker, 2001; Crowley y Colrain, 2004). También se ha manifestado en mecanismos de procesamiento selectivo, seleccionando características espaciales de los estímulos (Kenemans y cols., 2002).

En cuanto a su topografía el componente P2 se localiza en el vértex (Crowley y cols., 2004).

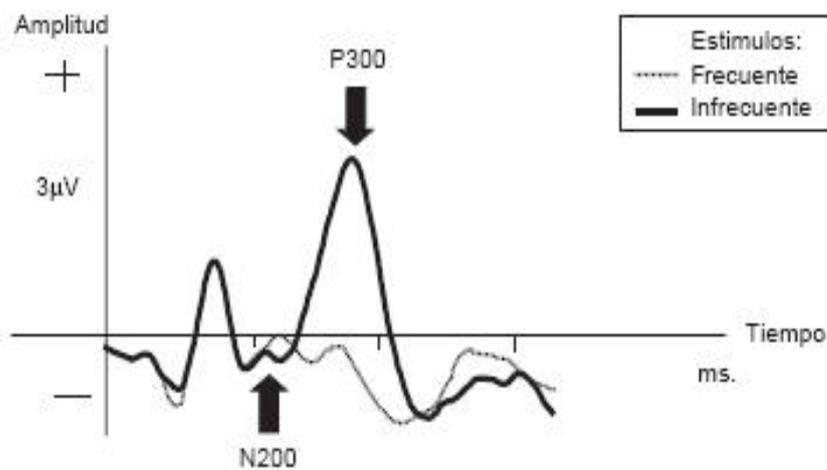
El componente que aparece a continuación es el N200 o N2, onda de valor negativo, que aparece a los 200 ms. Su amplitud máxima se obtiene al presentar estímulos no habituales, aunque está

más relacionado con la tarea en sí que con las características de los estímulos (Näätänen y Gaillard, 1983; Ponomareva y cols., 1998; Näätänen y Escera, 2000). Se origina al detectar un estímulo objetivo entre estímulos estándar, asociándose a procesos discriminativos (Simson y cols., 1977; Breton y cols., 1988; Vázquez y cols., 2002; Luck, 2005).

En las tareas visuales se observa un N2 posterior relacionado con la discriminación de un estímulo objetivo entre estímulos no objetivos y aparece en la región contralateral a la presentación del estímulo. Su finalidad sería la de discriminar el estímulo objetivo (Ritter y cols., 1983; Luck y Hillyard, 1994; Luck, 2005). Este N2 posterior que aparece en tareas de búsqueda visual es también denominado N2pc (N2 parietal y contralateral). El potencial N2 frontal se asocia con la inhibición de respuestas y los procesos cognitivos conflictivos (Breton y cols., 1988; Bekker y cols., 2004).

### **2.8.3. Componente P300**

Se define el componente P300 –y de manera más genérica “Late Positive Component” (LPC)-, como un máximo de potencial positivo que se origina en áreas distribuidas del córtex. Este máximo es elicitado por un estímulo novedoso, que puede ser objetivo o no (Courchense y cols., 1975) (Figura 10).



**Figura 10:** Gráfica representativa del componente P3 ocasionado por la presencia de un estímulo novedoso. Obtenida de [http://www.lookfordiagnosis.com/mesh\\_info.php?term=Potenciales+Relacionados+con+Evento+P300&lang=2](http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Potenciales+Relacionados+con+Evento+P300&lang=2)

Siempre que entre estímulos estándares se presente un estímulo novedoso, objetivo o no objetivo, se genera un potente P300 que se traduce en un aumento de la amplitud de la onda (Squires y cols., 1976; Duncan-Johnson y Donchin, 1977, 1982; Johnson y Donchin, 1982). La finalidad que tiene la elicitación del P300 es la de desencadenar una estrategia para procesar la información novedosa y responder al estímulo que se nos presenta. Esta estrategia conlleva el análisis de expectativas, recurrir a estrategias o bien adecuarlas para poder adaptarnos a la nueva situación (Donchin, 1981). El P300, por tanto, se origina siempre que tengamos que adecuar la memoria de trabajo a una nueva situación que surge en el medio ambiente.

Los sujetos, desde que nacemos, vamos creando un esquema de nuestro mundo con expectativas, modelos, etc., y si los estímulos

presentados no encajan en este esquema previo se producen cambios y aparece el P300 (Verleger, 1988). Estudios más recientes apuntan que cuando se procesa un estímulo entrante la memoria lo compara con otros y, si el estímulo no presenta cambios, se genera un potencial evocado N1, P2 y N2. Si el estímulo entrante es novedoso se genera un P3 (Polich, 2003). Se considera, por tanto, el P300 como el componente que evalúa los fundamentos neuronales de la cognición mediante eventos relacionados con potenciales evocados del cerebro (ERP) (Heslenfeld, 2003; Kujala y Näätänen, 2003; Polich, 2007). Estos eventos son similares a lo ocurrido en las respuestas de orientación, donde el P300 está relacionado con la habituación y deshabituación (Polich, 1989; Yamaguchi y cols., 2004; Rushby y cols., 2005). Esta relación con la habituación y deshabituación del P300 puede indicar una asociación interactiva a varios niveles (Kok, 1997).

El primer investigador que describió el P300 fue Sutton (1965). Las primeras informaciones se obtienen al manipular estímulos con la finalidad de evaluar los patrones eléctricos del cerebro en unas condiciones determinadas (Bashore y Van der Molen, 1991). Los resultados se obtuvieron con el paradigma "Oddball" (Donchin y cols., 1978). El paradigma Oddball presenta tres modalidades:

1. Se presenta al sujeto un solo estímulo objetivo y cuando aparece el estímulo objetivo el sujeto debe responder según instrucciones.

2. En la segunda modalidad se presentan dos estímulos. Estos estímulos se exhiben al azar. Uno de ellos aparece con una frecuencia baja (estímulo objetivo) y el otro con una frecuencia mayor (estímulo estándar). Al sujeto se le instruye para que conteste al estímulo objetivo.
3. Por último, el paradigma Oddball puede presentar tres estímulos: estímulo estándar, estímulo distractor y estímulo objetivo. El estímulo estándar se presenta con bastante asiduidad y el estímulo distractor y estímulo objetivo con menor frecuencia. A los sujetos se les instruye para que contesten sólo al estímulo objetivo.

#### **2.8.3.1. Bases neurológicas del componente P300**

El componente P300 no es un fenómeno aislado y unitario, por el contrario, todo apunta a que se trata de un procesamiento de información de manera secuenciada donde intervienen la atención y la memoria (Polich, 2007). Verleger y cols., (2005), consideran que el P300 relaciona la percepción de estímulos sensoriales y las respuestas que se emiten a los mismos. Además, se comprueba que está relacionado con la inhibición de la atención hacia la tarea irrelevante, de esta manera se facilita el acceso a los sistemas de memoria (Polich, 2007).

En investigaciones anteriores realizadas sobre PREs se han encontrado tres tipos del componente P300 (Courchesne, 1978). Uno de ellos tiene su máximo en el córtex prefrontal y los otros dos en el córtex parietal. El componente P300 que tiene su máximo en el córtex prefrontal, se caracteriza porque es elicitado por un estímulo novedoso (Courchense y cols., 1975). Otro tipo de P300 encuentra su máximo en el córtex parietal, aparece al presentar al sujeto un estímulo novedoso no objetivo de fácil reconocimiento (Ritter y cols., 1968; Courchesne y cols., 1975, 1978; Ford y cols., 1976). El tercer tipo, cuyo máximo se corresponde también en el córtex parietal, se origina por la presentación de un estímulo objetivo (Vaughan y Ritter 1970; Picton y Hillyard 1974; Courchesne y cols., 1975, 1977b, 1978; Squires y cols., 1975; Ford y cols., 1976). Esto nos confirma, siguiendo a Polich (2007), que el P300 posee dos subcomponentes, denominados: P3a y P3b. Los componente P3a y P3b, por tanto, se originan con la aparición de un estímulo novedoso, sea objetivo o sea simplemente novedoso (Kok, 2001).

El componente P3a se registra en el área fronto-central durante el procesamiento de la tarea a causa de la demanda atencional que requiere dicha tarea (Posner y Petersen, 1990; Pardo, y cols., 1991; Posner, 1992; Polich, 2007) y está asociado con la red frontal-dopaminérgica (Polich, 2007); mientras que el componente P3b, registrado en áreas parietales, está también asociado con la atención y con diferentes procesos cognitivos como la actualización de la

memoria de trabajo (Donchin y Coles 1988). Su actividad se origina en zonas temporales-parietales y depende del sistema de la norepinefrina (Polich, 2007).

Se ha encontrado que lesiones en el lóbulo frontal provocan una disminución en la amplitud del P3a, sin embargo, en las áreas parietales se encuentra un máximo para el P3b sin ningún tipo de alteración. Se deduce por tanto que para generar un P3a es vital el lóbulo frontal (Knight, 1984; Knight y cols., 1995) mientras que el P3b tendría su origen en zonas más distribuidas fronto-parieto-temporales.

#### **2.8.3.2. Amplitud y latencia**

El P300 es una magnitud y para su medición, como magnitud que es, se utiliza la latencia, polaridad, topografía, frecuencia, y amplitud. En este trabajo usaremos la amplitud y la latencia como medidas dependientes de la edad y, utilizaremos polaridad y topografía para su categorización como componente P300. La amplitud ( $\mu\text{V}$ ), es la diferencia entre la media del voltaje de la línea base del estímulo y el pico más alto de la onda dentro de una ventana temporal. Es proporcional a la cantidad de recursos atencionales durante el desarrollo de la tarea (Polich, 2007). Si la tarea demanda poca exigencia se produce una amplitud grande y un

pico de latencia corto. Si la demanda es alta la amplitud es pequeña y el pico de latencia grande (Polich, 1987; Kok, 2001). La amplitud también aumenta si el intervalo entre la presentación de estímulos es amplio y viceversa. Kahneman (1973), considera que el sistema de procesamiento es modulado por la cantidad de arousal que controla la cantidad de atención disponible para realizar la tarea, y esta cantidad modula el P300 (Pribram y McGuinness, 1975; Kok, 1990). Su amplitud igualmente se ve afectada por la intervención de la memoria con la aparición de los estímulos atencionales (Paller y cols., 1988; Rushby y cols., 2002).

En estudios donde se ha presentado a los sujetos una tarea Oddball al mismo tiempo que se requería una tarea secundaria consistente en el recuento del número de estímulos objetivos, se ha observado que la amplitud del P3 disminuye independientemente de la modalidad de la segunda tarea (Israel y cols., 1980; Wickens y cols., 1983; Kramer y cols., 1985).

La latencia (ms) del P300 se define como el tiempo que transcurre entre la presentación del estímulo y el punto máximo de amplitud positiva dentro de una ventana temporal. Este tiempo empleado es proporcional al proceso que se requiere para evaluar un estímulo objetivo (Magliero, y cols., 1984). Sus valores son menores en las áreas frontales (correspondiente al denominado componente P3a) y mayores en las áreas parietales (correspondiente al

denominado componente P3b) (Mertens y Polich, 1997a; Polich y cols., 1997). Las diferencias a nivel de individuos están relacionadas con el desarrollo cognitivo superior, cuanto más cortas sean las latencias mayor desarrollo cognitivo ha alcanzado el sujeto (Polich y cols., 1983; Johson y cols., 1985; Pelosi y cols., 1992a; Emmerson y cols., 1989).

La latencia del P3a y P3b decrece con la edad (Oades, y cols., 1997). Alrededor de los doce años se estabiliza la latencia en el componente P3a, sin embargo, la latencia del P3b se estabiliza más tardíamente, aproximadamente entre los 15 y 17 años.

Los aspectos relativos al desarrollo de los PREs relevantes para el presente estudio se tratarán en la introducción del segundo experimento.

### **3. HIPÓTESIS GENERALES**

1. Existe una mejora atencional con la edad, pero los niños podrían tener distintas ventanas temporales de maduración para esta función.
2. Algunas de las estrategias de respuesta ante estímulos podrían ser distintas a distintas edades.
3. Los PREs atencionales de origen frontal podrían estar madurando más tardíamente que aquellos de origen posterior.

4. Determinar cuáles son los recursos cerebrales utilizados por los niños y adultos en la capacidad atencional, de forma que se pueda comprobar si existe una transferencia de la función atencional durante el desarrollo desde áreas posteriores a áreas anteriores.

No obstante y dado el carácter exploratorio del presente estudio es posible que aparezcan tendencias en los datos que merezcan nuestra atención y análisis.

## **CAPÍTULO II: EXPERIMENTO I**

#### 4. INTRODUCCIÓN

La atención está basada en un conjunto de redes neuronales con funciones diversas. Las distintas áreas cerebrales que conforman la atención se desarrollan en distintos momentos y ello hace difícil definirla y conocer su evolución. Una de las formas de explorarla y estudiar su desarrollo es mediante el uso de paradigmas de búsqueda visual.

El primer investigador que utilizó paradigmas de búsqueda visual para estudiar el desarrollo de la atención fue Neisser (1963, 1964). Este autor presentaba a los sujetos un estímulo objetivo, por regla general una letra, en una columna compuesta por 50 filas de seis letras cada una. Buscó la precisión en la respuesta de los sujetos, pero principalmente el tiempo de reacción en relación con el número de distractores que se presentan, localización espacial (arriba, abajo, izquierda, derecha), características físicas, entre otras (Klenberg y cols., 2001).

Hickey y Theeuwes (2009), comprueban que en la búsqueda visual los sujetos se dirigen automáticamente a lo más sobresaliente y esa respuesta es rápida. Sin embargo, al obligarles a buscar un objetivo concreto hay una respuesta más lenta.

Gold y cols., (2007), distinguen entre la búsqueda de abajo-arriba caracterizada por la prominencia del objetivo frente a los distractores.

Por el contrario, en la búsqueda arriba-abajo el objetivo no se diferencia demasiado de los distractores, las características del estímulo objetivo no son salientes. Como consecuencia la diferencia entre estos dos tipos de búsqueda tiene que reflejarse en los tiempos de reacción que invierten los sujetos en la búsqueda del objetivo.

Teniendo en cuenta lo expuesto arriba nos encontramos con dos tipos de búsquedas: la búsqueda en paralelo y en serie. En la primera de ellas, el tiempo que invierten los sujetos debe ser pequeño y la pendiente de la recta que representa los resultados estará muy próxima a cero, indicando poca inversión en la búsqueda del objetivo. Este tipo de búsqueda que "salta a la vista" se denomina Pop-Out y permite que la atención se dirija casi de inmediato al objetivo. Esto se debe a la gran diferencia respecto a las características entre el estímulo objetivo y los distractores y a la gran similitud entre distractores (Duncan y Humphreys, 1989; Wolfe, 1998). De hecho, se considera que este procedimiento de búsqueda es pre-atencional, en el sentido que no se necesita de un esfuerzo para realizarlo. Desde un punto de vista computacional puede considerarse que la búsqueda se realiza en paralelo en toda la escena visual (Treisman, 1980). En las tareas de Pop-Out, se ha observado que en niños de tres meses de edad el sistema de búsqueda Pop-Out se encuentra desarrollado (Alder y Orprecio, 2006).

Por el contrario, en la búsqueda serial, cuando los distractores son muy similares al estímulo objetivo, éste no es fácilmente identificable y los sujetos siguen estrategias de búsqueda entre los objetos presentados hasta encontrar el objetivo (Woodman y Luck, 1999; Woodman y Luck, 2003). En este supuesto los tiempos de reacción deben aumentar de una forma lineal con respecto al número de distractores (Forsman, 1967; Day, 1978; Thompson y Massaro, 1989; Ruskin y Kaye, 1990; Lobaugh y cols., 1998; Trick y Enns, 1998; Klemberg y cols., 2001; Gerhardstein y Rovee-Collier, 2002; Hommel y cols., 2004; Baranov-Krylov y cols., 2009; Dye y Bavelier, 2010). Este tipo de búsqueda serial se denomina en la literatura de habla inglesa Visual Search. Desde un punto de vista computacional se supone que la búsqueda es serial, analizando elemento a elemento la imagen hasta que se alcanza el estímulo objetivo, provocando la respuesta. Este tipo de búsqueda: Visual Search, se desarrolla a edades más tardías que la búsqueda visual de Pop-Out.

En el Experimento I de la tesis, para comprobar que los niños de menor edad siguen una estrategia de respuesta cautelosa en una tarea compleja y no emiten una respuesta impulsiva, se les aplicó una tarea de Stop. En este tipo de tareas a los sujetos se les adiestra para que den una respuesta ante la aparición de un estímulo objetivo, pero que no emitan la respuesta a dicho estímulo si previamente se ha emitido una señal. Esta tarea nos permite controlar la capacidad

inhibitoria de los sujetos, pues implica generar una respuesta de parada una vez iniciado el procesamiento del estímulo objetivo.

Después de analizar teóricamente los paradigmas de búsqueda visual, a continuación se muestran ejemplos de aplicación práctica de lo visto anteriormente: cómo se aplica, qué se mide y cómo se puede relacionar el grado de atención adquirida con la edad de los sujetos.

Adler y Orprecio (2006) realizan unos estudios con bebés en los que usan la prueba Pop-Out con dos objetivos:

- ✚ Comprobar si los niños muy pequeños (3 meses) muestran en la búsqueda visual de Pop-Out una escala de milisegundos como los adultos.
- ✚ Si el número de distractores presentados afecta a su capacidad de búsqueda.

A niños de 3 meses le aplicaron la prueba Pop-Out y descubrieron que a tan tempranas edades tienen desarrollado el fenómeno "Pop-Out", siendo capaces de detectar estímulos salientes.

Baranov-Krylov y cols., (2009) realizaron unos estudios sobre los parámetros de la atención en diferentes grupos aplicando la tarea Visual Search. Tomaron cinco grupos con edades comprendidas entre 5 y 7 años, 15 años, 20-35 años y otro de más de 60 años. En total estudiaron a 62 sujetos. Realizaron cinco tipos de tareas: una difícil en la que no se distinguía bien el estímulo objetivo de los distractores por su similitud; cuatro fáciles para adultos y no para niños.

Analizaron los tiempos de reacción y los errores, que abarcaban las falsas alarmas y las omisiones. En todas las pruebas los niños más pequeños de la muestra obtuvieron peores resultados. También obtuvieron el mayor número de falsas alarmas. De todas las pruebas realizadas la que mejor realizaron los sujetos de menor edad eran aquellas en la que el estímulo objetivo era bastante diferente en forma y color de los distractores. Los autores del experimento consideran que objetivos con atributos muy destacados eran más fáciles de detectar para los pequeños al atraer la atención y disminuir la influencia inhibitoria que la búsqueda visual ejerce sobre los distractores.

Otros autores que aplican la búsqueda visual a niños son Gerhardstein y Rovee-Collier (2002). Los dos investigadores pasan una prueba a niños de 3 años basada en la búsqueda en paralelo usando como estímulo objetivo un famoso personaje de dibujos animados. Estos autores obtienen en las pruebas los mismos tiempos de reacción que para los adultos. De estos datos deducen que ya los pequeños, a los 3 años, tienen adquiridos los procesos básicos que son la base para la búsqueda visual y por tanto adultos y niños pequeños percibiríamos el mundo de la misma forma. Para niños de 12 a 36 meses de edad encontraron resultados muy similares o casi iguales que para lactantes, niños muy pequeños y adultos. El aumento del número de distractores no cambió o cambió muy poco los resultados. Si se les obligaba a realizar una búsqueda en serie los

tiempos de reacción cambiaban a medida que los distractores aumentaban. Comprobaron que para los bebés de 12 meses, si el objetivo no se movía, eran incapaces de detectarlo.

De 18 a 36 meses de edad mostraron el mismo patrón de tiempos de reacción que adultos en la búsqueda en paralelo, mientras que presentaron más dificultad para detectar el estímulo objetivo e invirtieron más tiempo en ello si la búsqueda era serial. Estos resultados también han sido obtenidos por distintos experimentadores que han utilizado distintos tipos de estímulos como reconocimiento de números (Bhatt y cols., 1994; Adler y cols., 1998; Gerhardstein y cols., 1998; Gerhardstein y cols., 1999); objetivos móviles (Colombo y cols., 1995); colores (Catherwood y cols., 1996); estímulos en tres dimensiones (Bhatt y Waters, 1998). También Sireteanu (2000) obtiene semejantes resultados con parches de líneas en una orientación presentada en un campo de líneas que muestran orientación distinta.

En general, en el conjunto de los estudios de búsqueda, los TRs han sido más extensamente estudiados que los diferentes tipos de errores. El análisis de los errores podría poner de relieve los procesos que todavía no están maduros en los niños, mientras que el análisis de los TRs y errores totales no lo podrían de manifiesto.

En el presente experimento, un grupo de sujetos con edades comprendidas entre 6 y 16 años de edad realizaron las tareas de los

paradigmas Pop-Out y Visual Search. Las hipótesis de este estudio se presentan a continuación.

## **5. HIPÓTESIS**

1. Los mecanismos de selección pre-atencional se desarrollan antes que los procesos de atención serial. Una consecuencia de esta primera hipótesis es que para las tareas de mayor dificultad los niños tendrían un sesgo de respuesta más prudente y, por tanto, se podría obtener una mayor cantidad de errores de omisión para las tareas de mayor dificultad. Para estudiar esta estrategia de precaución, en los niños de menor edad, se presentará la tarea Stop al grupo de sujetos. Si se obtuviera un alto número de omisiones en la tarea Go y reducido número de respuestas impulsivas (respuestas al estímulo Stop) en niños pequeños con respecto a preadolescentes y/o adolescentes, ello reforzaría la hipótesis propuesta de la estrategia de precaución en la emisión de respuestas durante tareas complejas y rápidas en los sujetos más pequeños.

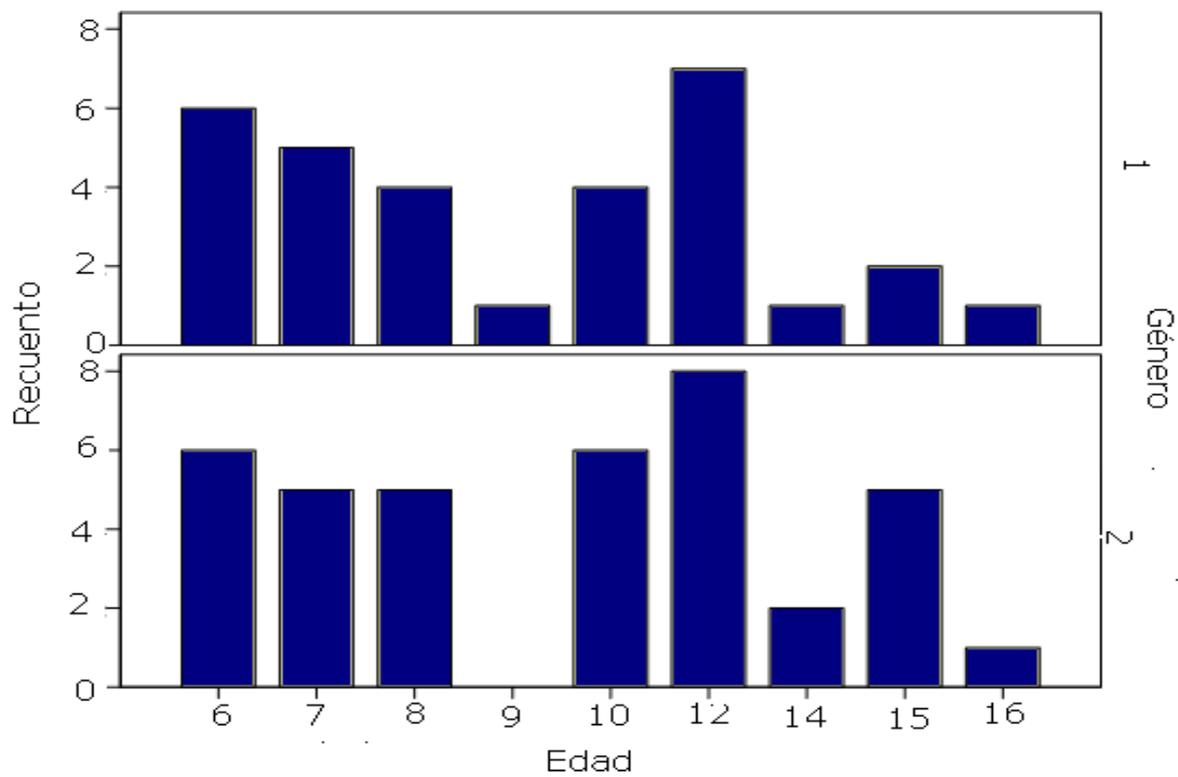
2. Durante el desarrollo, en las tareas complejas de discriminación, los niños más pequeños alcanzarían el criterio correcto de desempeño en una amplia ventana temporal. Un cuidadoso análisis de los errores podría proporcionar alguna información acerca las posibles estrategias y procesos implicados en las tareas de búsqueda visual y su trayectoria de desarrollo, además de si la maduración ocurre en diferentes edades en los niños normales.

## **6. MÉTODO**

### **6.1. Muestra**

La muestra de este experimento incluye a 69 sujetos, todos ellos estudiantes de clase media, vecinos de la ciudad de Sevilla, España, pertenecientes a un colegio concertado. El rango de edad está comprendido entre los 6 y 16 años (media de edad  $9.884 \pm 3.1461$ ). El grupo estaba compuesto por 38 chicas y 31 chicos (Figura 11).

Los sujetos experimentales no tenían problemas de visión o en su caso estaba corregido. Los experimentos se llevaron a cabo con el consentimiento de los padres o tutores legales siguiendo las normas del protocolo de Convención de Helsinki. El Comité Ético de la Universidad de Sevilla aprobó el estudio que se desarrolla a continuación.



**Figura 11:** Diagramas comparativos edad-género. El número 1 se corresponde con el género masculino. El número 2 con el género femenino.

## **6.2. Estímulos**

Los estímulos presentados fueron de naturaleza visual. Los test conductuales se corresponden con los paradigmas de búsqueda visual serial (Visual Search), búsqueda pre-atencional (Pop-Out) y paradigma de parada (Stop Signal Task). En los dos primeros paradigmas se presentaron 2, 4 y 6 estímulos para examinar. El tipo de procedimiento experimental fue de alguna manera distinto de los paradigmas más usuales (ej. Lobaugh, 1998), en los cuales el sujeto tiene que responder SÍ a la presencia del estímulo objetivo y NO a la ausencia del mismo. En este paradigma experimental, los sujetos respondían a la aparición del estímulo objetivo y no emitían respuesta a la ausencia del mismo. Estos ensayos se consideran ensayos captura (catch trials).

## **6.3. Paradigma y procedimiento**

Se utilizó el software e-prime 1.0 para presentar los estímulos y registrar las respuestas conductuales. Los test conductuales que se aplicaron fueron Pop-Out (dos, cuatro y seis estímulos) para inducir una búsqueda visual en paralelo en los sujetos, y el paradigma Visual Search (dos, cuatro y seis estímulos) para originar una búsqueda serial. El tipo de procedimiento en la aplicación del paradigma

experimental fue algo diferente a los más usuales de búsqueda visual (ej. Lobaugh, 1998), en los cuales el sujeto tenía que responder a la presencia de un estímulo objetivo (SÍ, emisión de respuesta) o a la ausencia del mismo (NO, no emisión de respuesta).

En los paradigmas experimentales del presente trabajo, los resultados obtenidos confirmaron que el procedimiento experimental utilizado indujo el mismo tipo de búsqueda que los paradigmas clásicos, y presentó ciertas ventajas ecológicas como orientación y respuesta a la localización de estímulos objetivos, y no respuesta a la ausencia de los mismos, lo que se demostró útil para trabajar con niños pequeños.

En los paradigmas experimentales del presente trabajo, los resultados obtenidos confirmaron que el procedimiento experimental utilizado indujo el mismo tipo de búsqueda que los paradigmas clásicos, y presentó ciertas ventajas ecológicas como orientación y respuesta a la localización de estímulos objetivos, y no respuesta a la ausencia de los mismos, lo que se demostró útil para trabajar con niños pequeños.

De hecho, el paradigma Visual Search ha sido aplicado a sujetos de muy corta edad, niños con edades comprendidas entre los 1-3 años, que respondieron exclusivamente a la aparición de estímulos objetivos (Gerhardstein y Rovee-Collier, 2002). Por tanto, el uso de respuestas compatibles a la localización espacial de un estímulo

objetivo y la ausencia de ésta cuando dicho estímulo no se presenta, en las tareas de catch trials, se comprende fácilmente por parte de los sujetos de menor edad que realizaron el experimento.

Los estímulos se presentaron en la pantalla de un ordenador. El experimento se desarrolló individualmente en una habitación del centro escolar, en privacidad y en un ambiente relativamente insonorizado y libre de distracciones. Los sujetos se situaron a 40 cm de distancia de la pantalla del ordenador de 17". Para el paradigma Visual Search el estímulo fue un rectángulo mitad azul (RGB code: navy 000080) y mitad rojo (RGB code: red FF0000). Ambos colores eran luminosos. La medida de los elementos individuales fue 0.6 cm (0.85° de ángulo visual) en el meridiano horizontal y de 1.2 cm (1.7° de ángulo visual) en el meridiano vertical. Los estímulos distractores tenían color azul en la porción superior y los estímulos objetivos, por el contrario, eran en su parte superior de color rojo. Para el paradigma Pop-Out, el estímulo objetivo era la presencia de un rectángulo rojo, rodeado de rectángulos azules (estímulos estándares) (Figura 12). El conjunto de estímulos se presentó en el centro de una pantalla de ordenador a una distancia de 7 cm (9.9° de ángulo visual) en el meridiano horizontal y a 4.5 cm (6.4 de ángulo visual) en el meridiano vertical. Los distractores solos, con ausencia de estímulos objetivos, se presentaron en ensayos de captura para las condiciones Visual Search y Pop-Out.

A los sujetos se le presentaron 2, 4 y 6 estímulos. En todos los ítems presentados había un punto de fijación, una cruz, y a ambos lados de ésta el mismo número de estímulos objetivo. Los ítems se presentaban al azar. Los sujetos presionaban el botón derecho del ratón para indicar que el estímulo objetivo estaba situado a la derecha del punto de fijación o bien el botón izquierdo si el estímulo novedoso estaba situado a la izquierda del punto de fijación. Previamente, los sujetos habían sido advertidos de no presionar ante la presencia de estímulos distractores durante la prueba.

Para las tareas Pop-out y Visual Search había un total de 180 ensayos presentados en dos bloques: 30 para cada condición (2, 4 y 6 ítems), de los cuales el 80% eran estímulos objetivo (72 estímulos, 24 por cada condición); el 20% restante (18 estímulos, 6 para cada condición), correspondían a estímulos distractores (catch trials). El conjunto de estímulos para ambos paradigmas fueron presentados en dos bloques diferentes. El número total de ensayos por bloques fue de 90. Los bloques fueron presentados a los sujetos en el mismo orden: primero el bloque de Pop-out y después el bloque de Visual Search.

Los estímulos fueron presentados durante 1500 ms con un ISIs que oscilaba -al azar- entre los 500-700 ms respectivamente. Los sujetos recibieron las instrucciones para la búsqueda de diferentes estímulos objetivo (rojo en la tarea Pop-Out y rectángulos con la

parte inferior en azul y la superior roja para la tarea de Visual Search), presionando el botón correspondiente si se presentaba el estímulo objetivo, o no presionando cuando no aparecían dichos estímulos objetivo.

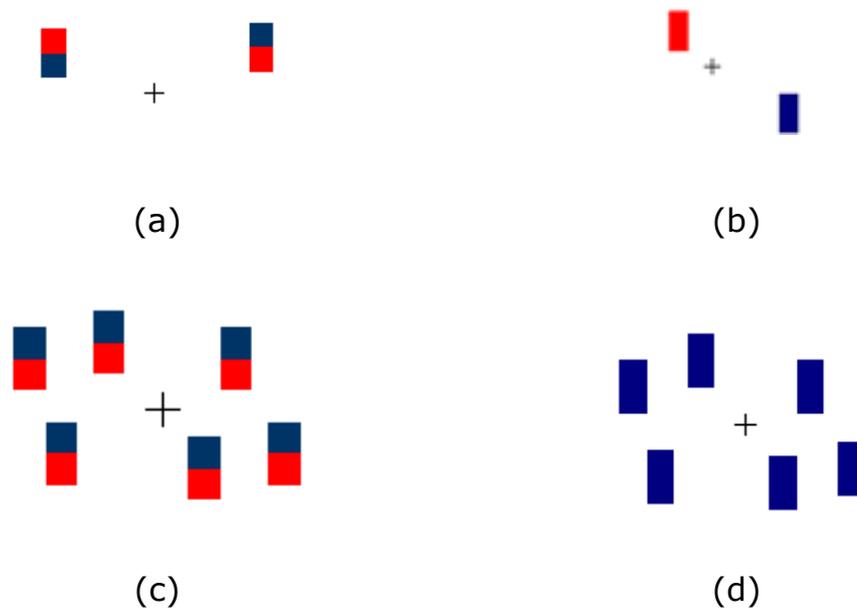
Las variables registradas para la prueba Pop-Out fueron: el número de errores y TRs para dos, cuatro y seis estímulos presentados. Cuando el sujeto respondía a los distractores, la respuesta era categorizada como falsa alarma. Las anticipaciones se consideraron como respuestas dadas antes de los 150 ms. Las omisiones se corresponden con los ensayos en los cuales no se había registrado una respuesta durante los 1500 ms. Cuando el sujeto respondía al lado opuesto de donde se encontraba el estímulo objetivo, el error se categorizó como respuesta incorrecta. Los errores fueron analizados en porcentajes. Para la tarea Visual Search las variables se registraron exactamente igual que para la tarea Pop-Out.

La tarea de Señal de Stop (Stop Signal Task) se caracterizó por la presentación de un estímulo objetivo al que el sujeto debía responder tan rápido como le fuera posible (Go Signal). En una baja cantidad de ensayos, inmediatamente después de la presentación de un estímulo objetivo, aparece una señal que indica supresión de respuesta. Esta tarea evalúa la habilidad atencional del sujeto así

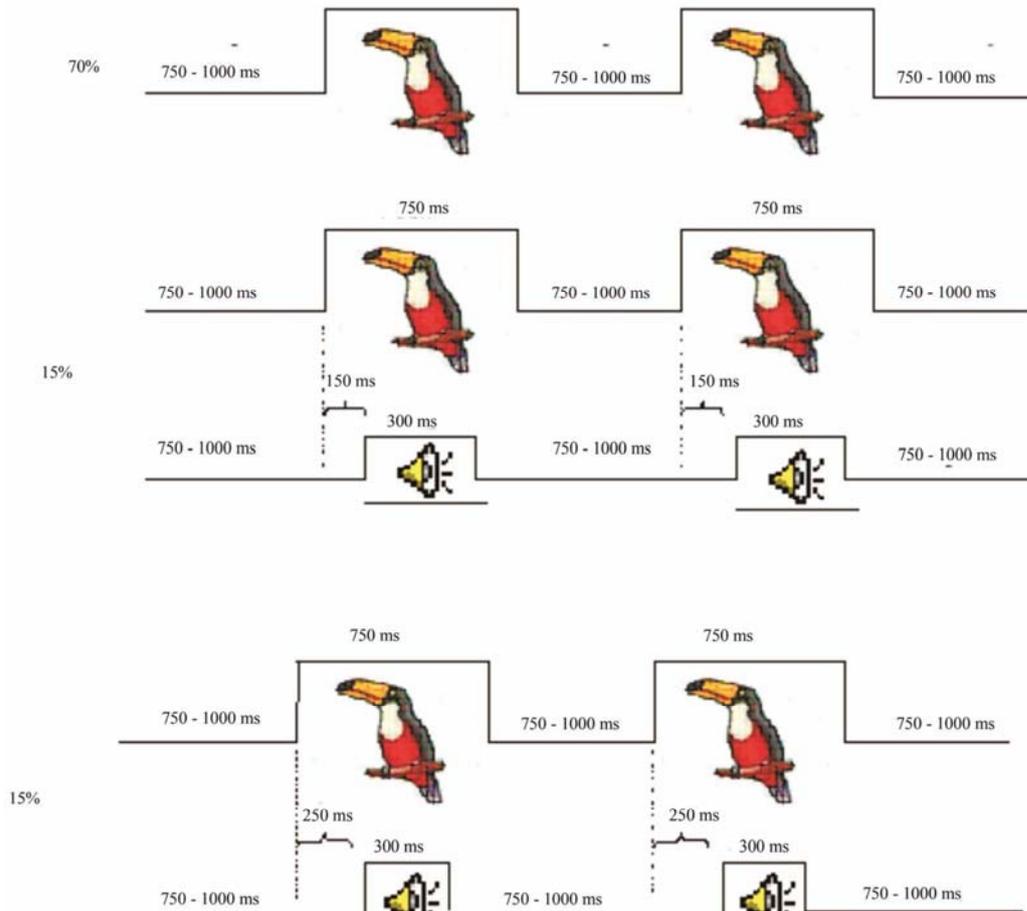
como su capacidad de inhibición. En la tarea Stop, los sujetos tenían que inhibir una respuesta motora para la que habían sido instruidos.

La señal Go fue un tucán y se presentó durante 750 ms (Figura 13). En los ensayos de Stop se presentó un tono de 500 Hz y de 300 ms de duración a los 150 ms o 250 ms después de que apareciera el tucán. El tono indicaba que no se debía responder. La ventana de respuesta era de 750 ms. El ISI se presentaba al azar eligiendo entre 750 y 1000 ms respectivamente. Se presentaron 100 ensayos, 70 para Go Signal y 30 para Stop Signal.

Las variables registradas fueron: el número de errores de omisión, TRs en Go Signal y número de respuestas Stop Signal (falsas alarmas). Este particular experimento tenía como objetivo comprobar la habilidad de los chicos preadolescentes y adolescentes para abolir una respuesta en curso pero no para analizar el tiempo de respuesta como lo definió Logan (1984). Se quería comprobar si los niños tienen tendencia a seguir estrategias cuidadosas para responder. Estas estrategias podrían demostrarse por un bajo número de respuestas a los ensayos Stop en niños con respecto a otros grupos de edad.



**Figura 12:** Ejemplo de las condiciones Visual Search y Pop-Out. (a) Ejemplo de la condición Visual Search con un distractor (ítem con la parte superior azul) y un estímulo objetivo (ítem parte superior roja). (b) Ejemplo de la condición Pop-Out con un distractor (ítem azul) y un estímulo objetivo (ítem rojo). (c) Ejemplo de seis distractores en la condición Visual Search (ítems con la parte superior azul). (d) Ejemplo de seis distractores en la condición Pop-Out (ítems azules).



**Figura13:** Stop task. La figura muestra la proporción de condiciones. EL 70% de ensayos eran señales Go. El 30% restante de los ensayos eran señales stop distribuidas en un 15% de ensayos con señal stop (sonido) 150 ms después de la llegada del estímulo visual y el otro 15% de señal stop apareciendo 250 ms después del estímulo visual Go.

## 7. ANÁLISIS DE DATOS

### 7.1. Datos conductuales

El análisis estadístico se desarrolló usando el programa SPSS 17.0. Se calculó un ANOVA inter-grupo (3 x 2 x 3) de medidas repetidas con el objetivo de analizar los efectos de la edad en los tres grupos de edad en las dos condiciones experimentales (Pop-Out y Visual Search) y, el número de ítems presentados (2, 4 y 6 ítems). Estos dos últimos corresponden a los factores intra-grupos en el ANOVA. También se estudió la interacción de los efectos de los tres factores. Los niveles de edad del factor inter-grupo fueron los siguientes:

- ✚ Niños pequeños: 6 – 8 años; 31 sujetos; 16 mujeres.
- ✚ Preadolescentes: 9 – 12 años; 26 sujetos; 14 mujeres.
- ✚ Adolescentes: 14 – 16 años; 12 sujetos; 8 mujeres.

Estos análisis se aplicaron independientemente para los TRs, porcentaje de errores totales, errores de omisión y respuestas incorrectas. El ANOVA no se aplicó a las anticipaciones ni a las falsas alarmas, porque mostraron pocos casos.

La interacción entre el número de ítems y las condiciones experimentales fueron particularmente importantes para confirmar qué estrategias de búsqueda se emplearon para la condición Visual Search. Como se describirá en la sección de resultados, se apreció que en esta condición hay un incremento en los TRs y los errores cuando se incrementó el número de ítems presentados, mientras que en la condición Pop-Out estas variables podrían ser independientes del número de ítems.

Para el cálculo de las trayectorias de desarrollo se realizó una regresión entre las variables conductuales y la edad de los sujetos experimentales. El mejor ajuste se obtuvo aplicando el modelo inverso, el cual es reportado en estos resultados, con excepción de las respuestas incorrectas, que demandaron un modelo cuadrático para la condición Visual Search con seis ítems.

La trayectoria de desarrollo mostró un incremento de la variabilidad en los errores cometidos por los niños pequeños. Para demostrar este posible incremento de variabilidad se aplicó el test de Levene para la homogeneidad de la varianza en los diferentes grupos de edad.

Para el paradigma Stop Task, se calculó un ANOVA inter-grupo para analizar el efecto de los grupos de edad (tres niveles de edad) en las diferentes variables obtenidas en Stop Task (número de errores por omisión y RTs en GO señal y número de respuestas en

Stop Signal). Los sujetos se agruparon en las mismas categorías de edad que en el experimento de Visual Search. También se aplicó el test de Levene para probar si existía o no homogeneidad de la varianza en los diferentes grupos de edad.

## **8. RESULTADOS**

### **8.1. Análisis de los TRs del estímulo objetivo en las condiciones Pop-Out y Visual Search**

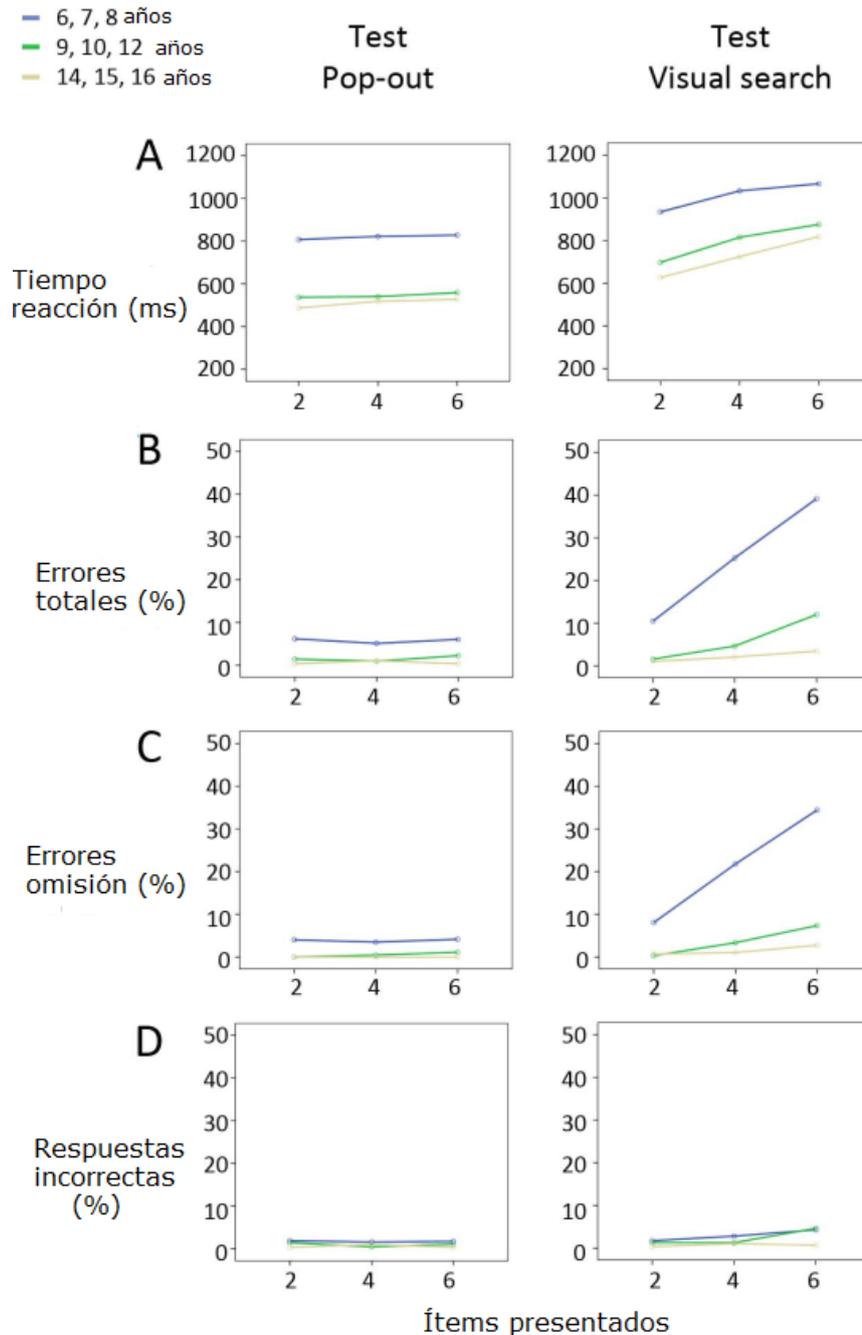
En la Figura 14(A) observamos los TRs empleados por los sujetos (agrupados en tres grupos de edad) en las condiciones Pop-Out y Visual Search. Se puede apreciar que mientras en la condición Pop-Out hay una mínima influencia en los TRs respecto del número de ítems que se presentan, en la condición Visual Search sí hay un considerable incremento en los TRs con el número de ítems presentados. También se aprecia un considerable decrecimiento en los TRs con la edad en ambas condiciones.

Se calculó un ANOVA para relacionar el factor edad de los sujetos (tres grupos de edad), las dos condiciones motivo de estudio (condiciones Pop-Out y Visual Search) y el número de ítems presentados (2, 4, 6). El efecto del factor condición fue estadísticamente significativo debido a los altos TRs en la

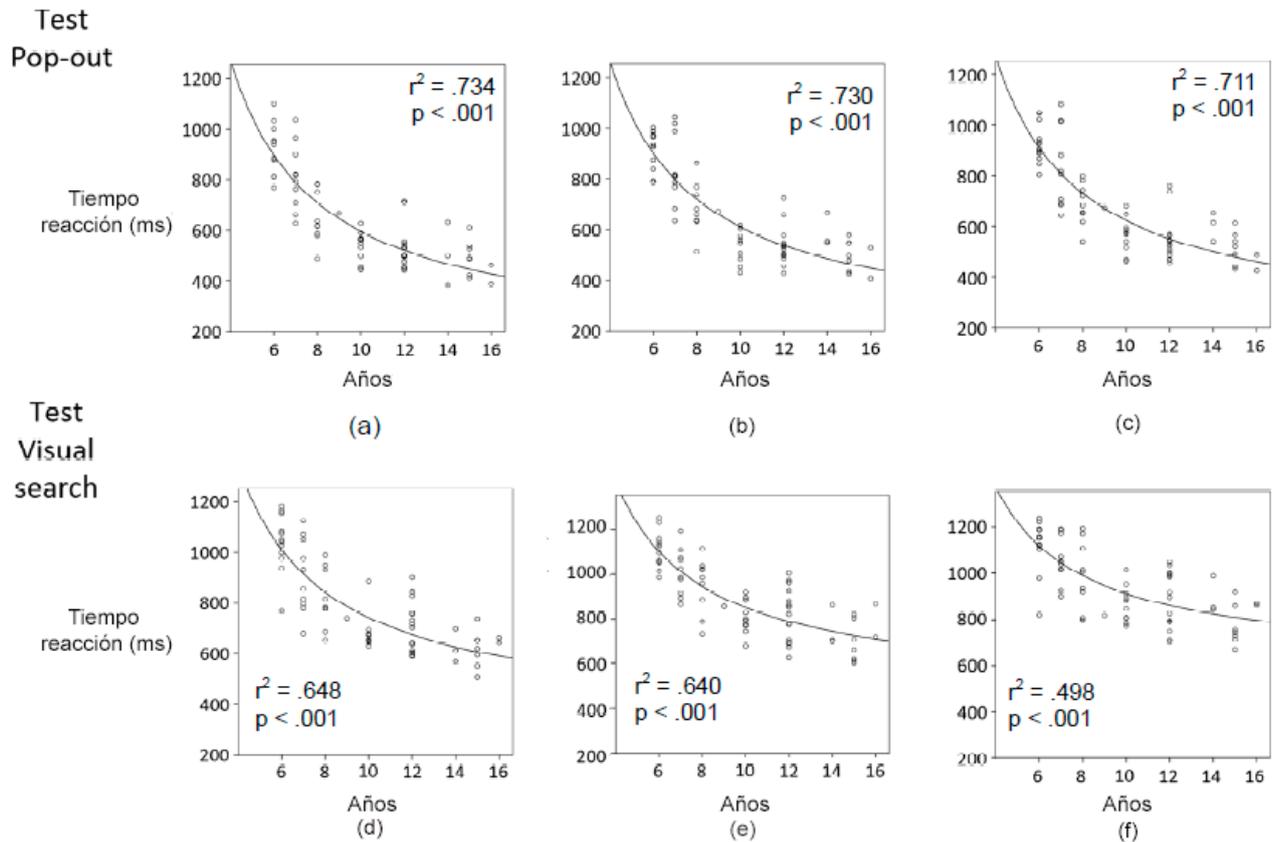
condición Visual Search respecto de la condición Pop-Out ( $F [1, 66] = 430, p < .001$ ). El efecto del factor ítem, también fue estadísticamente significativo debido al incremento de RTs con el número de ítems presentados ( $F [1.924, 126.992] = 172.852, p < .001$ ). El factor inter-sujetos fue estadísticamente significativo ( $F [2, 66] = 57.031, p < .001$ ), indicando diferentes TRs para cada grupo de edad. Las comparaciones con Bonferroni reportaron que los TRs del grupo de los niños pequeños fue estadísticamente diferente de los otros dos grupos ( $p < .001$  y  $p < .001, p < .003$  y  $p < .003$ ), mientras que el grupo de mediana edad no fue estadísticamente diferente del grupo de los sujetos de mayor edad. Los efectos de la interacción entre las condiciones y el número de ítems fueron estadísticamente significativos. Los resultados mostraron que los TRs en la condición Visual Search aumentaron, de manera significativa, con el número de ítems respecto de la condición Pop-Out ( $F [1903, 125.610] = 85.304, p < .001$ ). El efecto de la interacción de la condición experimental y el grupo de edad también fue estadísticamente significativo ( $F [2, 66] = 3.873, p < .026$ ), debido al alto incremento de los RTs con la edad en la condición Visual Search respecto de la condición Pop-Out. La interacción del número de ítems por grupos de edad presentó unos valores estadísticamente significativos ( $F [3848, 126.992] = 2762, p < .032$ ), indicando un incremento diferente en TRs con el incremento del número de ítems para los diferentes

grupos de edad. Los efectos de la interacción entre los factores: condición, número de ítems y grupos de edad no fueron estadísticamente significativos. Este último resultado indicó que el incremento de los TRs con las condiciones y los grupos de edad no difiere con el incremento del número de ítems. Esto último puede ser observado en la Figura 14(A) en la cual hay una tendencia paralela entre los diferentes grupos de edad en ambas condiciones experimentales.

Con el fin de establecer las trayectorias de desarrollo de los TRs, calculamos la ecuación inversa respecto a la edad para las diferentes condiciones experimentales y número de ítems (Figura 15) ( $TR = a + (b/edad)$ , donde  $b$  es una constante). La relación inversa entre los TRs y la edad de los sujetos fue estadísticamente significativa en todos los casos.



**Figura 14:** Los TRs y errores en los diferentes grupos de edad y condiciones: (A) Relaciones entre TRs para la condición Pop-Out y Visual Search en los tres grupos de edad como una función del número de ítems. Nótese el decrecimiento de los TRs con la edad en ambas condiciones, y el incremento de los TRs con el número de ítems en la tarea de Visual Search; (B) Relaciones entre el porcentaje total de errores para las condiciones Pop-Out y Visual Search en los tres grupos de edad en función del número de ítems. Nótese la disminución de errores con la edad en ambas condiciones y el incremento de errores con la edad con el número de ítems en la tarea Visual Search; (C) y (D) Idem para B en cuanto a las omisiones y respuestas incorrectas, respectivamente.



**Figura 15:** Relación entre edad de los sujetos experimentales (años) vs. TRs (ms) cuando se presentan diferentes números de ítems para las dos condiciones experimentales (Pop-Out y Visual Search). La fila superior muestra la condición Pop-Out y la fila de abajo la condición Visual Search. (a) y (d) se corresponden con la presentación de 2 ítems, (b) y (e) se corresponden con la presentación de 4 ítems y (c) y (f) con la de 6 ítems. Los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y el valor de significación ( $p$ ) son mostrados. Nótese la alta relación estadísticamente significativa del modelo de regresión inversa para las seis tareas.

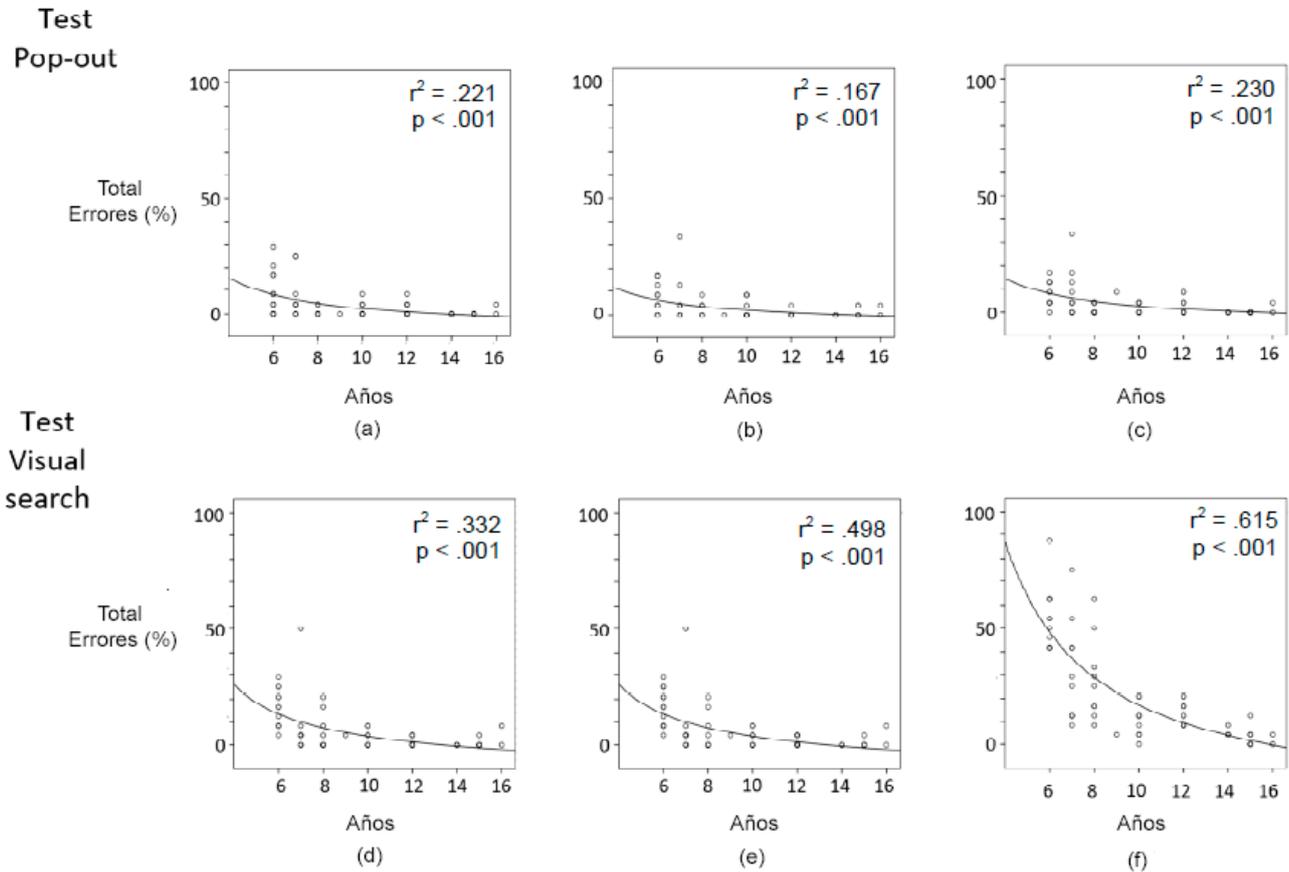
## **8.2. Análisis de los errores totales del estímulo objetivo en las condiciones Pop-Out y Visual Search**

Los resultados de los errores totales respecto de las condiciones y número de ítems se muestran en la Figura 14(B). La gráfica muestra un incremento de los porcentajes de los errores totales a medida que crece el número de ítems presentados. Esta diferencia es más acusada para la condición Visual Search que para la condición Pop-Out.

Al igual que en el estudio de los TRs, un ANOVA inter-grupo fue calculado para el factor inter-grupo de edad de los sujetos (tres grupos de edad), y para los dos factores intragrupos: condiciones experimentales (condición Pop-Out y Visual Search) y número de ítems presentados (2, 4, 6). El efecto del factor condición fue estadísticamente significativo debido al alto número de errores de la condición Visual Search respecto a la condición Pop-Out ( $F [1, 66] = 36.921, p < .001$ ). El efecto del factor ítem fue estadísticamente significativo debido al incremento del número de errores con respecto al número de ítems presentados ( $F [1868, 123.258] = 53.940, p < .001$ ). El factor inter-grupos fue estadísticamente significativo ( $F [2, 66] = 28.480, p < .001$ ), indicando diferente número de errores en los distintos grupos de edad.

La comparación aplicando Bonferroni indicó que el total de errores en el grupo de los sujetos jóvenes fue significativamente diferente de los otros dos grupos de edad ( $p < .003$ ), mientras que el grupo de edad mediana no fue estadísticamente diferente del grupo de mayor edad. Los efectos de la interacción entre condiciones y número de ítems fue estadísticamente significativo, indicando que los errores en la condición Visual Search se incrementaron más rápidamente con el número de ítems presentados que en la condición Pop-Out ( $F [1706, 112.574] = 49.237, p < .001$ ). El efecto de la interacción entre el efecto de la condición y los grupos de edad también fue estadísticamente significativo ( $F [[2, 66] = 18.615, p < .001$ ) debido al alto incremento con la edad de los errores cometidos en la condición Visual Search respecto a la condición Pop-Out. La interacción entre número de ítems por grupos de edad fue estadísticamente significativa ( $F [3735, 123.258] = 17.844, p < .001$ ), indicando una diferencia en el incremento de errores respecto a la edad y al aumento del número de ítems presentados. Los efectos de la interacción entre los factores: condición, número de ítems y edad de los grupos, fue estadísticamente significativa ( $F [3411, 112.574] = 19.154, p < .001$ ), indicando que los errores se incrementaron de manera más rápida respecto al número de ítems en la condición Visual Search que en la condición Pop-Out en el grupo de niños con respecto al grupo de adultos. En la condición Pop-Out se mantiene esta relación relativamente estable.

La Figura 16 muestra la trayectoria de desarrollo del número de errores totales, en tanto por ciento, en relación con la edad y número de estímulos presentados. El número de errores decrece inversamente con la edad para las condiciones Pop-Out y Visual Search. Como previamente se ha descrito, la condición Pop-Out presentó un número de errores menos elevado que la condición Visual Search. Los niños más pequeños presentaron alrededor de un 50% de errores cuando se incrementaron los ítems de 4 a 6 estímulos en la condición Visual Search (Figuras 16(e) y 16(f) respectivamente). Nótese también la alta variabilidad en el número de errores en la condición Visual Search para los sujetos más jóvenes.



**Figura 16:** Las relaciones entre la edad de los sujetos, porcentaje de los errores totales y número de ítems para las dos condiciones experimentales (Pop-out y Visual Search). La línea superior indica la condición Pop-Out, y la línea inferior la condición Visual Search. (a) y (d) se corresponden con la presentación de dos estímulos, (b) y (e) se corresponde con la presentación de cuatro estímulos y (c) y (f) con la presentación de seis estímulos. Nótese que la alta variabilidad en los sujetos de menor edad para la condición Visual Search de cuatro y seis ítems (16(e) y 16(f)). Se muestran los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y el valor de significación ( $p$ ). Véase también, la alta relación estadísticamente significativa del modelo de regresión inversa para las seis tareas.

### **8.3. Análisis de los diferentes tipos de errores**

La Tabla 1 muestra los porcentajes y desviaciones estándares de falsas alarmas, respuestas incorrectas, anticipaciones y errores de omisión. Las omisiones fueron los errores más comunes, seguidas de las respuestas incorrectas. La Tabla 1 muestra también el porcentaje obtenido de falsas alarmas y anticipaciones que, como se puede comprobar, corresponden a valores pequeños. Sin embargo, las omisiones y respuestas incorrectas fueron cuidadosamente analizadas. Anticipaciones y falsas alarmas no fueron analizadas por su bajo porcentaje.

		Pop-out 2 items	Pop-out 4 items	Pop- out	Visual search	Visual search	Visual search
<b>Errores Omisión (%)</b>	<b>Media</b>	1.8116	1.7512	2.2946	3.8647	11.2319	18.7198
	<b>SD</b>	4.43258	4.92000	4.54945	7.90307	15.88717	20.21917
<b>Errores Anticipación (%)</b>	<b>Media</b>	.1208	.0000	.0604	.3019	.3019	.1812
	<b>SD</b>	.70415	.0000	.50161	1.30179	1.08814	.85617
<b>Respuestas Incorrectas (%)</b>	<b>Media</b>	1.4493	1.2681	1.0870	1.3285	1.9324	3.8043
	<b>SD</b>	2.93117	2.40255	2.22005	2.52554	3.46991	5.09004
<b>Falsas Alarmas (%)</b>	<b>Media</b>	.0145	.0870	.0435	.1449	.1014	.0870
	<b>SD</b>	.12039	.28384	.26760	.39390	.38900	.28384

**Tabla 1:** Media y desviaciones estándar de los porcentajes de los diferentes tipos de errores: omisiones, respuestas incorrectas y falsas alarmas para las condiciones Visual Search y Pop-Out.

### 8.3.1. Análisis de errores de omisión

La Figura 14(C) muestra el número de errores de omisión para las diferentes condiciones y grupos de edad. Los errores de omisión aumentan con el número de ítems presentados en la condición Visual Search, particularmente para los grupos de menos edad.

Un ANOVA inter-grupo fue calculado para la condición edad (tres grupos de edad), condiciones experimentales (Pop-Out y Visual Search) y los tres tipos de estímulos presentados (2, 4 y 6 ítems). El efecto del factor condición fue estadísticamente significativo debido al alto número de errores de omisión para la condición Visual Search con respecto a la condición Pop-Out ( $F [1, 66] = 34.675, p < .001$ ). El efecto del factor ítem fue estadísticamente significativo debido al incremento del número de errores en relación al número de ítems presentados ( $F [1884, 124.349] = 44.048, p < .001$ ). El factor inter-sujetos fue estadísticamente significativo ( $F [2, 66] = 25.977, p < .0001$ ), indicando diferente número de errores en los diferentes grupos de edad.

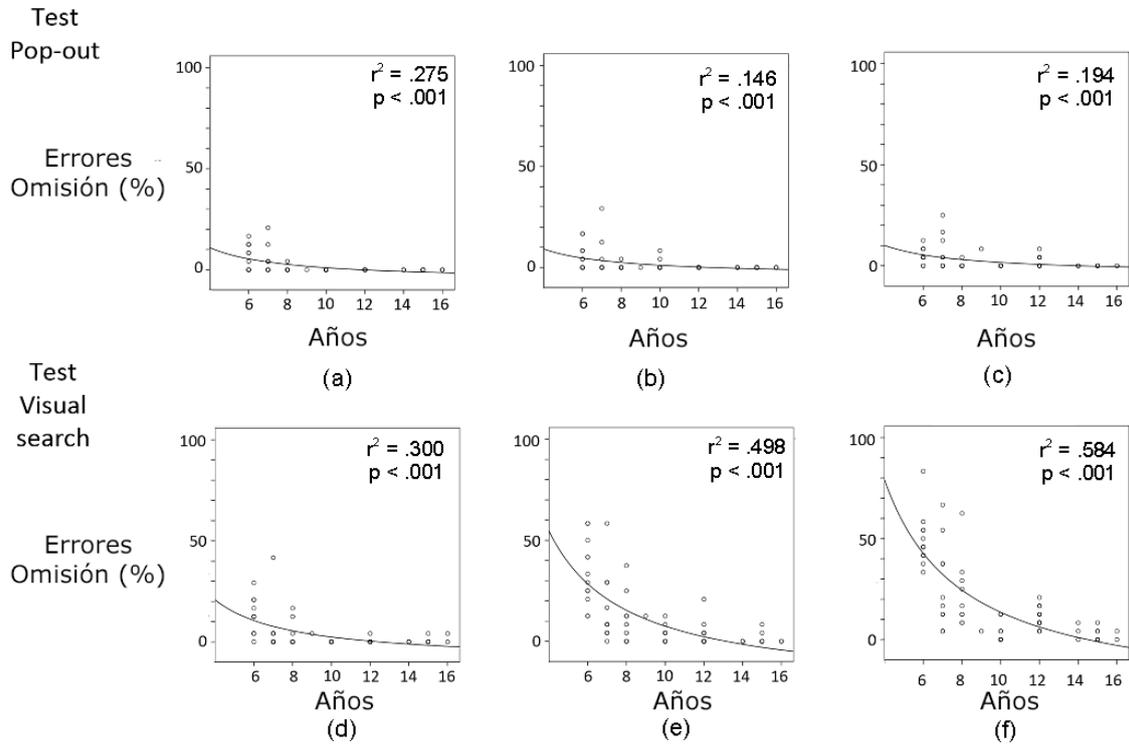
La comparación con Bonferroni indicó que los errores de omisión del grupo de edad más joven fue estadísticamente diferente a los otros dos grupos ( $p < .003$  y  $p < .003$ ), mientras que los de edad media no fueron estadísticamente diferentes de los de mayor edad.

Los efectos de la interacción entre las condiciones experimentales y el número de ítems fue estadísticamente significativo indicando que los errores de omisión en la condición Visual Search se incrementan más rápidamente con el número de ítems que en la condición Pop-Out ( $F [1711, 112.957] = 36.592, p < .001$ ). Los efectos de la interacción de las condiciones y grupos de edad fue estadísticamente significativo ( $F [2, 66] = 20.671, p < .001$ ) debido al alto incremento con la edad de los errores de omisión en la condición Visual Search respecto de la condición Pop-Out. La interacción del número de ítems con el grupo de edad fue estadísticamente significativa ( $F [3.768, 124.349] = 18.316, p < .001$ ), indicando un descenso de los errores de omisión con la edad de forma diferencial según el número de ítems presentados.

Los efectos de interacción entre condición, número de ítems y grupos de edad fueron estadísticamente significativos ( $F [3423, 112.957] = 19.423, p < .001$ ), esto significa que los errores de omisión aumentan más rápidamente con la edad en el grupo de los niños más pequeños respecto al número de ítems en la condición Visual Search que en los otros grupos, mientras que en la condición Pop-Out el número de errores de omisión es relativamente estable en relación a los grupos de edad y número de ítems presentados.

Las trayectorias de desarrollo para los errores de omisión mostraron una relación inversa entre edad y errores de omisión en

ambas condiciones (Figura 17). Esta tendencia estaba más marcada en la tarea de mayor demanda en Visual Search, más exigente con cuatro y seis ítems (Figuras 17(e) y 17(f)), las cuales mostraron una alta variabilidad en el número de errores en los sujetos de menor edad.



**Figura 17:** Las relaciones entre la edad de los sujetos y el porcentaje de los errores de omisión teniendo en cuenta el número de estímulos para las dos condiciones experimentales (Pop-Out y Visual Search). La línea superior indica la condición Pop-Out, y la línea inferior la condición Visual Search. (a) y (d) se corresponden con la presentación de dos estímulos, (b) y (e) se corresponde con la presentación de cuatro estímulos y (c) y (f) con la presentación de seis estímulos. Nótese la alta variabilidad en los sujetos de menor edad para la condición Visual Search para cuatro y seis ítems (17(e) y 17(f)). Se muestran los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y el valor de significación ( $p$ ). Véase también la alta relación estadísticamente significativa del modelo de regresión inversa para las seis tareas.

### 8.3.2. Análisis de respuestas incorrectas

La Figura 14(D) muestra el número de respuestas incorrectas en las dos condiciones experimentales (Pop-Out y Visual Search). En la tarea de Visual Search, había un leve incremento en el número de errores con respecto al número de ítems presentados.

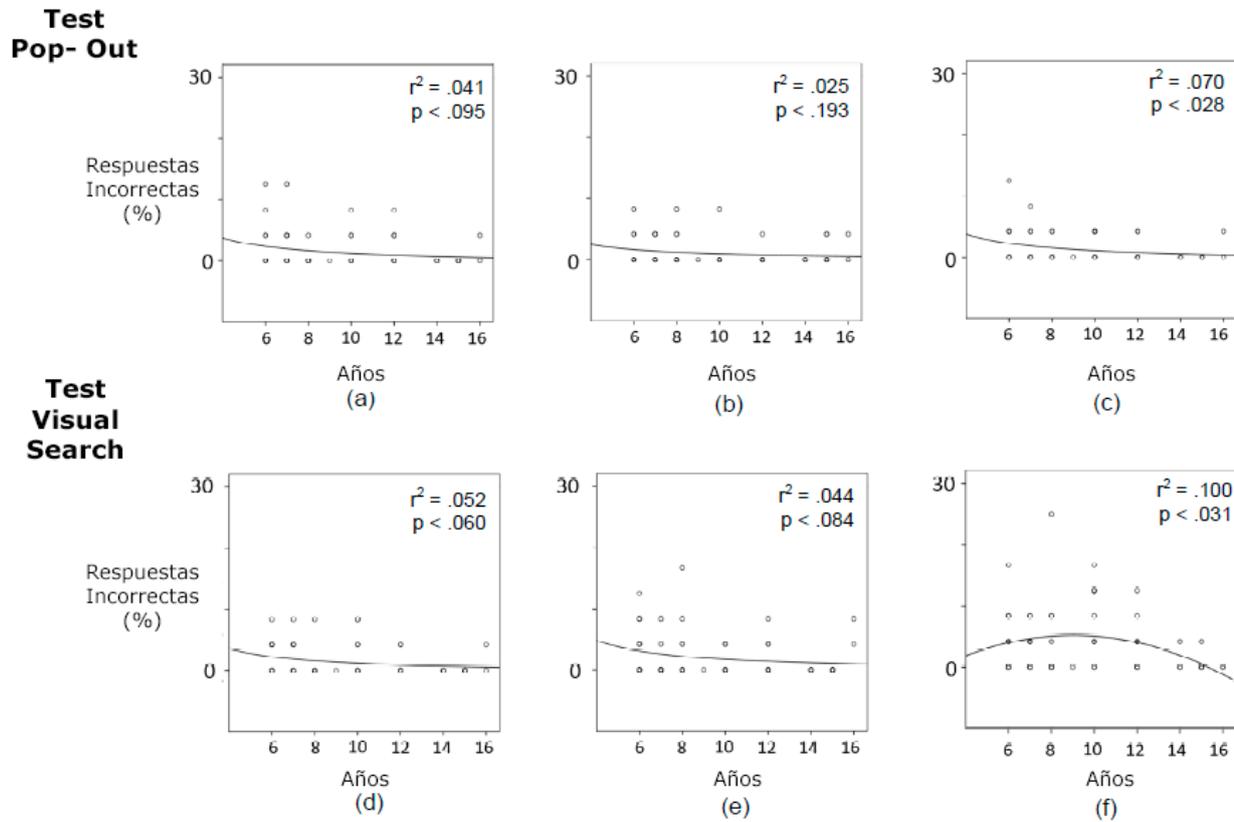
Se calculó un ANOVA inter-grupo con el factor grupos de edad (tres grupos de edad, ver Figura 14(D)) y el factor intra-grupo condición experimental (condición Pop-Out y Visual Search) y el número de ítems presentados (2, 4 y 6). El efecto del factor condición fue estadísticamente significativo debido al alto número de respuestas incorrectas en la condición Visual Search respecto a la condición Pop-Out ( $F [1, 66] = 5.204, p < .026$ ). El efecto del factor número de ítems fue estadísticamente significativo debido al incremento del número de respuestas incorrectas respecto al número de ítems presentados ( $F [1.850, 122.088] = 3.9, p < .025$ ). El factor inter-sujetos fue estadísticamente significativo ( $F [2, 66] = 4.336, p < .017$ ), indicando diferentes números de errores en los diferentes grupos de edad.

Las comparaciones de Bonferroni indicaron que las respuestas incorrectas en el grupo más joven de edad no mostraron diferencias

estadísticamente significativas respecto del grupo de mediana edad pero sí del de mayor edad ( $p < .016$ ).

Los efectos de interacción entre los factores condición y número de ítems sí fueron estadísticamente significativos, ello quiere decir que las respuestas incorrectas en la condición Visual Search se incrementan más con el número de ítems respecto de la condición Pop-Out ( $F [1.984, 1330.936] = 5.272, p < .006$ ). Los efectos de la edad no interactuaron con los efectos de otros factores.

La Figura 18 muestra la relación inversa entre edad y porcentaje de respuestas incorrectas. Sin embargo, estas relaciones fueron menos significativas estadísticamente en la mayoría de los casos que las otras comparaciones antes reseñadas. La condición Visual Search en la presentación de 6 ítems no se ajustó al modelo inverso pero sí al cuadrático ( $a * edad^2 + b * edad + c = \text{Número de errores}$ ) en el estudio de trayectorias de desarrollo.



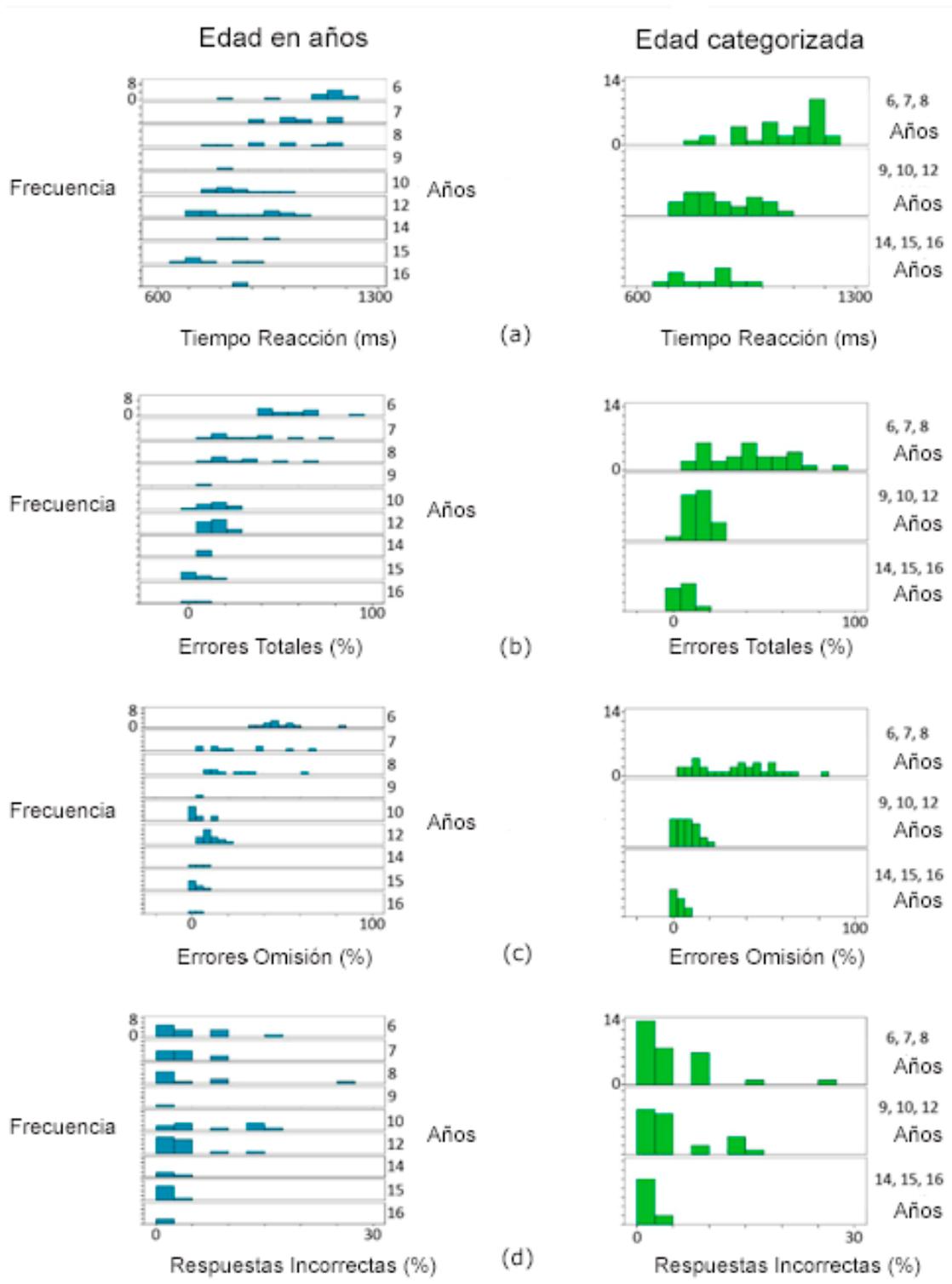
**Figura 18:** Relaciones entre la edad de los sujetos respecto al número de respuestas incorrectas y número de ítems para las dos condiciones experimentales (Pop-Out y Visual Search). La fila de arriba muestra la condición Pop-Out y la de abajo la condición Visual Search. (a) y (d) se corresponden con la presentación de dos estímulos, (b) y (e) con cuatro estímulos y (c) y (f) con seis estímulos. Se muestran los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y el valor de significación ( $p$ ).

### 8.3.3. Variabilidad en los TRs y errores

Las trayectorias de desarrollo muestran un aparente incremento de variabilidad en el porcentaje de errores en el grupo de los sujetos más jóvenes (Figuras 16-18) en la mayoría de las condiciones que requerían más demanda atencional como Visual Search con cuatro ítems (Figuras 16(e), 17(e) y 18(e)) y seis ítems (Figuras 16(f), 17(f) y 18(f)). A pesar que las condiciones de menor dificultad, condición Pop-Out y la presentación de 2 ítems para la condición Visual Search, presentan un efecto suelo, este puede ser discutido para las tareas de mayor dificultad como Visual Search para seis ítems ya que el 0% de errores sólo lo alcanzan unos pocos sujetos. La Figura 19 muestra una variabilidad en los TRs y los diferentes tipos de errores para la condición Visual Search con 6 ítems. El histograma (Figura 19), muestra los datos por edades (columna de la izquierda) y por grupos de edad (columna de la derecha). La variabilidad para los TRs no fueron muy diferentes en los distintos grupos de edad (Figura 19(a)). Para los errores, la variabilidad de los sujetos más jóvenes es considerablemente mayor que para los sujetos adultos. El histograma muestra que el efecto suelo no justifica el aumento de la variabilidad de los sujetos más pequeños. Este argumento es especialmente claro con los sujetos de edad media, en la que sólo una mínima parte del

grupo de éstos alcanza el 0% del total de los errores de omisión (Figura 19(b) y 19(c)).

Se aplicó el test de Levene para la homogeneidad de varianzas en las comparaciones entre los diferentes grupos (Tabla 2) de la condición Visual Search para seis ítems. Esta tabla mostró que para los TRs no había diferencias en la varianza en ninguno de los grupos, sin embargo, en el grupo de los más jóvenes, había un incremento de la variabilidad para todos los tipos de errores respecto del grupo de los sujetos mayores, y también del grupo de los de menor edad con respecto del grupo de mediana edad en los errores de omisión, con excepción de las respuestas incorrectas en la condición Visual Search con seis ítems. Hay diferencias estadísticamente significativas en las varianzas para las comparaciones entre el grupo de mediana edad y el grupo adulto restringidas para los errores de omisión y respuestas incorrectas en la condición Visual Search en la presentación de seis ítems.



**Figura 19:** Histograma de los tiempos de reacción (a), porcentaje de errores totales (b), porcentaje de errores de omisión (c), porcentaje de respuestas incorrectas (d). La columna de la izquierda representa los histogramas de frecuencia por años y la de la derecha por grupos de edad categorizados.

(a)

	Visual Search cuatro ítems				Visual Search seis ítems			
	Levene	df1	df2	sig	Levene	df1	df2	sig
<b>Tiempo Reacción</b>	.194	1	55	.662	1.264	1	55	.266
<b>Total errores</b>	22.791	1	55	.000	28.464	1	55	.000
<b>Omisión Errores</b>	31.962	1	55	.000	30.133	1	55	.000
<b>Respuestas Incorrectas</b>	8.239	1	55	.006	.002	1	55	.961

(b)

	Visual Search cuatro ítems				Visual Search seis ítems			
	Levene	df1	df2	sig	Levene	df1	df2	sig
<b>Tiempo Reacción</b>	.379	1	41	.542	1.837	1	41	.183
<b>Total errores</b>	13.722	1	41	.001	17.888	1	41	.000
<b>Omisión Errores</b>	22.475	1	41	.000	20.067	1	41	.000
<b>Respuestas Incorrectas</b>	4.476	1	41	.041	5.751	1	41	.021

(c)

	Visual Search cuatro ítems				Visual Search seis ítems			
	Levene	df1	df2	sig	Levene	df1	df2	sig
<b>Tiempo Reacción</b>	.134	1	36	.716	.409	1	36	.526
<b>Total errores</b>	.854	1	36	.362	2.971	1	36	.093
<b>Omisión Errores</b>	3.999	1	36	.053	4.635	1	36	.038
<b>Respuestas Incorrectas</b>	.073	1	36	.789	8.867	1	36	.005

**Tabla 2:** El test de Levene para la homogeneidad de varianzas entre los diferentes grupos de edad. Levene: estadística de Levene; df: grados de libertad; sig: estadísticamente significativo de  $p$ -valores; (a): test de comparación de Levene entre los grupos de edad 1 y 2; (b) test de comparación de Levene entre los grupos de edad 1 y 3; (c) test de comparación de Levene entre los grupos 2 y 3.

#### 8.4. Tarea Stop

El ANOVA de un factor (grupos de edad) muestra unas diferencias estadísticamente significativas en TRs en el paradigma Señal Go ( $F [2, 65] = 13.219, p < .001$ ); omisiones Señal Go ( $F [2, 65] = 9.673, p < .001$ ); y respuestas a Señal Go ( $F [2, 65] = 10.862, p < .001$ ).

Las comparaciones de Bonferroni indicaron que los TRs para la Señal Go en el grupo de los sujetos más jóvenes fue estadísticamente diferente del grupo preadolescente ( $p < .003$ ) y del grupo de los sujetos de mayor edad ( $p < .003$ ). Los TRs del grupo de los sujetos de menor edad fueron mayores (media: 517.29; SD: 41.28) comparado a los TRs de los preadolescentes (media: 447.92; SD: 64.27) y los adolescentes (media: 463,45; SD: 46.17), mientras que los grupos de preadolescentes y adolescentes no fueron significativamente diferentes.

Las omisiones en Señal Go del grupo de menor edad fue estadísticamente diferente del grupo de preadolescentes ( $p < .003$ ) y del grupo de mayor edad ( $p < .006$ ), mientras el grupo de preadolescentes y adolescentes no fueron estadísticamente diferentes. El porcentaje de omisiones del grupo más joven fue más alta (media=25.52, SD=13.80) comparado con el porcentaje de

omisiones de los preadolescentes (media=12.36, SD=14.54) y grupo de adolescentes (media=9.65, SD=6.45).

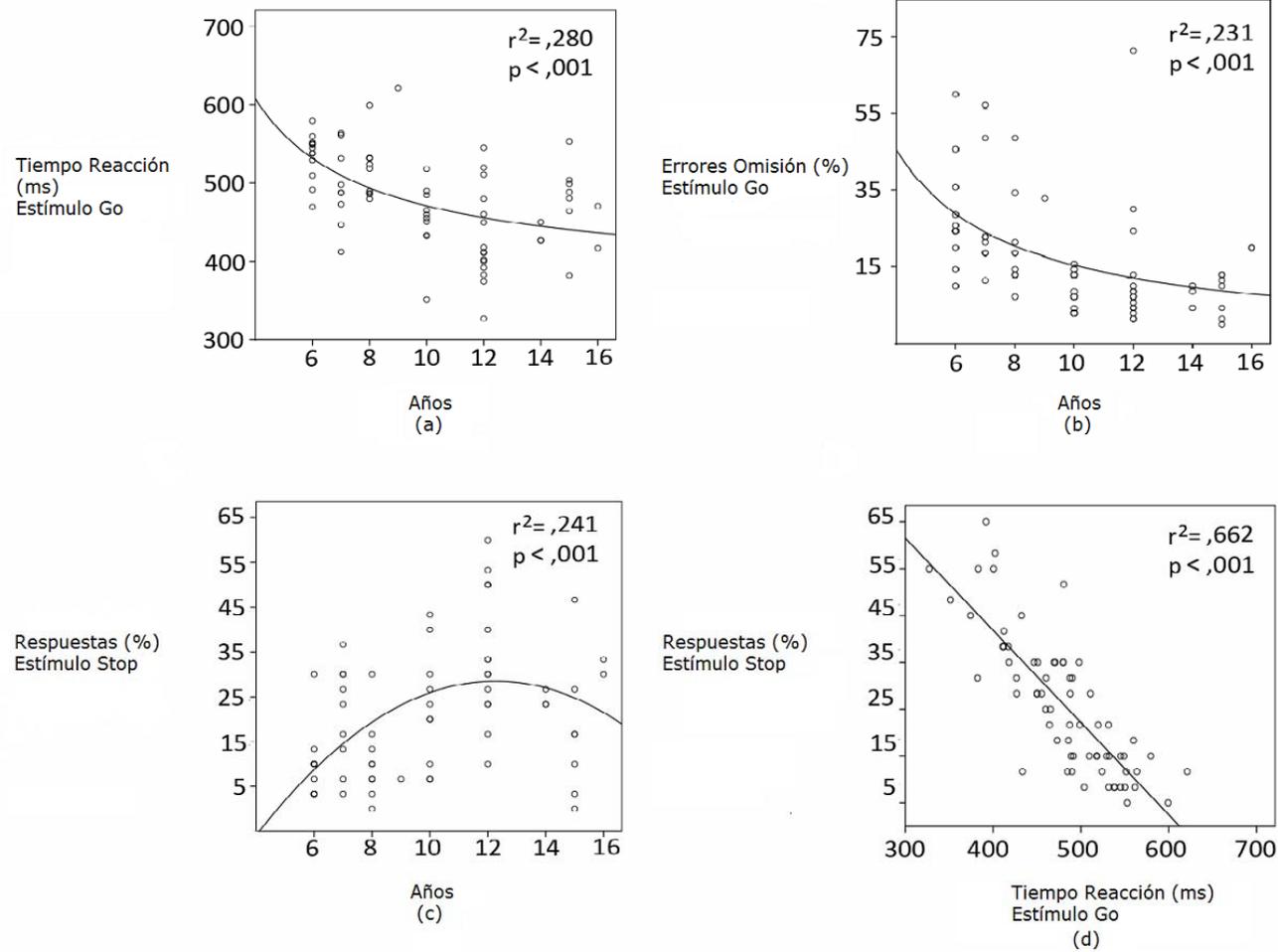
El porcentaje de respuestas a la Señal Stop por parte del grupo de menor edad fue estadísticamente diferente del grupo de preadolescentes ( $p < .003$ ), con un reducido número de respuestas (media=13.22, SD=10.15), con respecto del grupo de preadolescente (media=29.36, SD=15.49), mientras que las comparaciones entre otros grupos no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí.

### **8.5. Trayectorias de desarrollo**

Las trayectorias de desarrollo muestran (Figura 20) que hay una relación inversa entre edad y TRs (Figura 20(a)) y el porcentaje de omisiones para la señal Go (Figura 20(b)). La relación entre las respuestas al estímulo Stop y la edad (Figura 20(c)) quedó mejor definida con la ecuación cuadrática debido al incremento del número de respuestas emitidas de manera impulsiva en el grupo de los preadolescentes. Se obtuvo una relación lineal inversa entre el porcentaje de respuestas para el estímulo Go y los TRs (Figura 20(d)). Con el fin de comprobar si la última relación era dependiente de la edad, se calculó una regresión múltiple de las respuestas a la señal Stop vs TRs al estímulo Go y la edad (porcentaje de omisiones

= a + [b\*RTs al estímulo Go] + [c\*edad]). Estos resultados indicaron que la única variable que influyó en las respuestas al estímulo Stop fue TRs ( $p < .001$ ), mientras que la edad no fue estadísticamente significativa ( $p < .953$ ).

El test de Levene para la homogeneidad de la varianza no mostró diferencias entre las varianzas de los diferentes grupos de edad para ninguna variable considerada.



**Figura 20:** Trayectorias de desarrollo de la tarea Stop. (a) Relación inversa entre la edad de los sujetos vs. TRs del estímulo Go. (b) Relación inversa entre edad y porcentaje de omisiones al estímulo Go. (c) Relación cuadrática entre la edad y el tanto por ciento de respuesta al estímulo Stop. (d) Relación lineal inversa entre las respuestas al estímulo Stop y TRs al estímulo Go. Se muestran los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y el valor de significación ( $p$ ).

## 9. DISCUSIÓN

El presente estudio se ajusta a los resultados típicos obtenidos en los paradigmas de Visual Search con incrementos en los TRs y errores a medida que se incrementan el número de ítems presentados, mientras que en el paradigma Pop-Out, los RTs y errores permanecen relativamente estables aunque se aumente el número de ítems a evaluar (Treisman, 1986; Treisman y Gormican, 1988). La presencia de este patrón en los tres grupos de edad claramente sugiere que las estrategias de búsqueda en paralelo y serial están presentes en los tres grupos de edad del presente estudio, aunque difieran en eficacia.

Estos resultados permiten analizar la atención selectiva y las estrategias de la búsqueda atencional de los sujetos. La falta de interacción entre condición, número de ítems y grupos de edad sugieren que para una complejidad específica y número de ítems presentados, la influencia en los TRs de los procesos atencionales fue similar en todos los grupos de edad en este estudio. Es decir, que en los grupos de edad considerados, las estrategias de búsqueda son iguales.

Trabajos recientes han mostrado que la estrategia de búsqueda en tareas de Visual Search puede aparecer más tempranamente de lo que se había creído en un principio. La búsqueda de características estaba presente alrededor de los 18 meses de edad (Gerhardstein y

Rovee-Collier, 2002). También se observó que niños de 7-8 años de edad presentaron modulación atencional para TRs similar a los adultos (Lobaugh y cols., 1998). Hommel y cols., (2004) sólo encontraron una ligera mejoría en la condición Visual Search con la edad. Sin embargo, otros estudios mostraron un decrecimiento en el tiempo de búsqueda con el aumento de la edad (Day, 1978; Trick y Enns, 1998; Baranov-Krylov y cols., 2009). El presente estudio muestra los resultados basados en el análisis de errores, que están en concordancia con resultados anteriores descritos por Rebok y cols., (1997) y Klenberg y cols., (2001). Estos autores encontraron cambios en la atención entre los 8 y 10 años de edad. Estos cambios se produjeron de manera más gradual entre los 10 y 13 años. Los diferentes resultados obtenidos entre los distintos trabajos realizados, como ocurre con el presente trabajo, puede ser debido a la variedad del número de estímulos presentados, así como a su complejidad, y por supuesto, a las distintas ventanas de tiempo de respuestas.

Las trayectorias de desarrollo de TRs siguieron una relación inversa con la edad posiblemente debida a la maduración perceptual y motórica. Esta relación inversa entre edad y TRs ha sido obtenida por otros autores (Luna y cols., 2004) y puede estar relacionada con el factor psicofisiológico de la maduración. Por tanto, para la complejidad y dificultad de los estímulos presentados, y con respecto a la variable de TRs, los recursos atencionales para la tarea Visual

Search parecen estar presentes en el grupo de los más jóvenes (entre 6 y 8 años).

El análisis de los TRs no puede mostrar una información completa sobre los procesos y estrategias que presenta la tarea. El análisis de los errores podría ayudar a entender con más claridad la maduración atencional en estas tareas. Este tipo de análisis detallado de los diferentes tipos de errores ha sido desatendido en la literatura del desarrollo de la tarea Visual Search. La variable más estudiada ha sido la precisión, donde algunos autores han encontrado cambios con la edad (Klenberg y cols., 2001; Lobaugh y cols., 1998), mientras que otros autores como Trick y Enns (1998) no han encontrado diferencias.

Cuando se analizaron de manera detallada los errores cometidos, se observó que éstos disminuían con la edad (Day 1978; Baranov-Krylov y cols., 2009). En el presente estudio, el análisis de errores mostró que las falsas alarmas, durante los ensayos de captura (catch trials), y anticipaciones fueron muy bajos para todos los grupos de edad, sugiriendo una estrategia de precaución para todos los grupos. Las respuestas incorrectas fueron también poco frecuentes, aunque decrecieron con la edad para todas las condiciones excepto para la tarea Visual Search con seis ítems (modelo cuadrático), y fueron más frecuente en la condición Visual Search que en la condición Pop-Out. Curiosamente, el mayor número de errores apareció en los errores de

omisión, siendo más frecuentes en la tarea Visual Search respecto a la condición Pop-Out, decreciendo con la edad y aumentando en las condiciones donde se presentaron mayor número de ítems. Estos resultados son similares a los informados por otros autores (Day, 1978; Baranov-Krylov y cols., 2009), y sugieren que si los niños más pequeños no encuentran la respuesta correcta en un tiempo relativamente corto, prefieren no emitir una respuesta en lugar de emitir una incorrecta.

Con respecto a los errores en las trayectorias de desarrollo, decir que siguieron una función inversa como describieron Luna y cols., (2004). La excepción se produjo en las respuestas incorrectas para la tarea de Visual Search en la presentación de seis ítems. En este caso el modelo de ajuste de edad indicó un modelo cuadrático con un máximo de respuestas incorrectas en la adolescencia temprana, alrededor de los 12 años. Estos resultados sugieren que a medida que los procesos perceptuales, motores y de decisión mejoraron con la edad, las situaciones en las cuales no había suficiente información para emitir una respuesta fue disminuyendo con la edad, y en el caso en el que no había suficiente información disponible, las omisiones fueron preferidas a la emisión de respuestas incorrectas.

Baranov-Krylov y cols., (2009) han sugerido que el alto número de errores fue debido a la inmadurez de la vía occipito-temporal, pero otras fuentes no deben ser descartadas como responsables del

incremento del número de errores en los niños más jóvenes. La diferencia en los resultados de precisión de las respuestas con otros estudios en la tarea Visual Search (Trick y Enns, 1998; Lobaugh y cols., 1998) fue debido probablemente a los diferentes tipos y número de estímulos.

Por otro lado, está generalmente aceptado que la conducta de inhibición no está desarrollada en los niños más pequeños. Las omisiones en el estímulo Go para la tarea Stop fue decayendo con la edad, de forma similar a lo que ocurre en las condiciones Visual Search y Pop-Out y reforzando la idea de las estrategias de precaución de los niños más jóvenes en tareas complejas de velocidad y tiempos de reacción. En la tarea Stop la media de respuestas impulsivas al estímulo Go se incrementó en el período de la preadolescencia, sugiriendo que durante este periodo presentan una baja inhibición respecto a los niños más pequeños y a los adolescentes. Los TRs y las omisiones a las respuestas del estímulo Go presentaron una relación inversa con la edad, mientras que las respuestas al estímulo Stop mostraron una trayectoria cuadrática de desarrollo similar a la condición Visual Search de seis ítems. Estos resultados sugieren un sesgo en las decisiones impulsivas en el período preadolescente. Además, cuando las respuestas a la tarea Stop fueron predichas por la edad y TRs al estímulo Go, los TRs fueron suficientes para predecir con precisión el porcentaje de las respuestas impulsivas. En general los resultados de la tarea Stop,

dada la relación inversa de las omisiones con la edad, refuerza la idea de una estrategia cautelosa por parte de los niños/as.

Uno de los resultados más interesantes fue el incremento de la variabilidad en el número de errores en el grupo más joven de sujetos respecto a los mayores. Este efecto fue más sobresaliente en los errores de omisión y en las tareas más complejas como Visual Search para cuatro y seis estímulos.

El análisis de los histogramas sugieren que este incremento de la variabilidad no se puede atribuir al efecto suelo mostrado, dado que, muy pocos sujetos obtuvieron un 0% de error en estas dos tareas de Visual Search. Este incremento de la variabilidad de errores no se ha estudiado previamente en los estudios de la condición Visual Search, probablemente debido al bajo número de errores en la mayoría de los estudios.

En otras muchas tareas cognitivas es posible apreciar fenómenos similares aunque no han sido estudiados de manera explícita, por ejemplo, el número de errores sacádicos en tareas antisacádicas, y la precisión de la respuesta en la localización final de la mirada en la tarea respuesta retrasada oculomotora (Luna y cols., 2004) y en el juicio de pares de formas jerárquicas similares (globales o locales (Mondloch y cols., 2003). El incremento de la variabilidad en errores es probablemente debido a una amplia ventana de maduración psicológica y neuroanatómica, afectando procesos de toma de

decisiones en tareas difíciles, las cuales se alcanzan en diferentes edades en niños normales. Sin embargo, una limitación de este estudio, que ha mostrado un incremento de la variabilidad de los errores en los niños de menor edad respecto a los mayores, es que los estudios de este tipo de cohorte no garantizan que todos los chicos menores puedan llegar a un alto nivel de rendimiento como los sujetos mayores. No obstante, es muy poco probable que dada la naturaleza de los niños, normalmente escolarizados, que participaron en este estudio, este sesgo de cohorte revertiría los resultados de aumento de la variabilidad en la precisión en la primera infancia con respecto al periodo adolescente y post-adolescente.

En resumen, la media de TRs y errores en la tarea Visual Search siguen el patrón de crecimiento con el número de elementos y disminuyen con la edad, mientras que en la condición Pop-Out los TRs y los errores se mantuvieron relativamente estables cuando se incrementó el número de items.

La precisión, para el caso de los errores, quedaría explicada con la discriminación perceptual de los objetivos y una actitud de respuesta cautelosa por parte de los sujetos de menor edad. Las trayectorias de desarrollo de los TRs y errores, omisiones básicamente, siguen una relación inversa con la edad. El aumento de la variabilidad en los errores de los niños entre 6-8 años sugiere que los niños tendrían una ventana de maduración amplia para los procesos de decisión. Así

mismo, tendrían una actitud cautelosa en la emisión de respuestas cuando la discriminación perceptual es difícil y están disponibles varias opciones, con un tiempo muy limitado para la emisión de respuestas.

Una limitación de nuestro estudio es el tamaño de la muestra. Ésta es pequeña y el número de sujetos no es equilibrado para todos los grupos de edad. También una ampliación de la edad adulta sería deseable. En este estudio no hemos diferenciado entre los niños que no juegan a los videojuegos y los niños que a menudo lo practican. Estas deficiencias se deben evitar en futuros estudios.

En la aplicación de los paradigmas de búsqueda visual Pop-Out y Visual Search, se ha comprobado que existe una diferencia entre la búsqueda visual en paralelo y en serie. En la búsqueda visual serial, aplicando el paradigma Visual Search, se ha comprobado que los TRs así como el número de errores (omisiones y respuestas incorrectas) se incrementan con el aumento de la presentación del número de ítems. Estos TRs y errores, así como la variabilidad, son también más elevados a edades más tempranas respecto a las edades preadolescentes y adolescentes.

Los resultados reportados nos muestran que aunque la estrategia de procesamiento de los estímulos, en paralelo o serial, son similares para los distintos grupos de edad (tal como demuestra estadísticamente la ausencia de triple interacción condición, número

de items y grupos de edad para los distintos parámetros conductuales evaluados, y gráficamente, por la similitud del patrón de respuestas en todos los grupos de edad en las condiciones pop-out y visual search), la precisión y la velocidad van mejorando con la edad.

Por otro lado las trayectorias de desarrollo, en particular de los errores de omisión en las tareas de búsqueda visual y Stop, sugieren que los niños/as tienen una actitud cautelosa y prefieren no responder ante estímulos complicados y tiempo limitado. Por último el análisis de la variabilidad de los errores sugiere que existe una ventana amplia de maduración para la función atencional.

Estos resultados permiten introducir el racional del siguiente experimento.

Courchesne (1978), comprobó que en adultos y sujetos de 6 a 8 años de edad, cuando se les presenta un estímulo, muestran una onda P300, presentándose en los niños unos 300 ms más tarde que en el grupo de adultos y además va precedido por una negatividad, y sugiere que los PREs podrían indicar distintas formas de procesar, según la edad, el contenido de los eventos que se presentan.

Con el siguiente experimento, pretendemos desde el punto de vista conductual, comprobar si esta estrategia de cautela puede ser comprobada también en la tarea de rareza visual (Oddball). Pero, por otro lado, y tal como se indicó en la introducción, existen amplias evidencias de que las regiones posteriores del cerebro maduran antes

que las regiones anteriores. Ello nos lleva a proponer la hipótesis de que "la maduración de los PREs atencionales generados en las áreas posteriores del cerebro maduran antes que los componentes que se generan en las áreas frontales", debido a la falta de maduración morfológica de la corteza prefrontal y que, por tanto, estaría relacionada con la mejora de la capacidad atencional que aparece con la edad.

Para su comprobación diseñamos el Experimento II con una hipótesis concreta: "La maduración de los PREs atencionales generados en las áreas posteriores, componente P3b y SN, ocurriría antes que la maduración de los PREs generados en áreas frontales: FSP, P3a, SW."

## **CAPÍTULO III: EXPERIMENTO II**

## 10. INTRODUCCIÓN

La selección de un estímulo como objetivo, es un proceso complejo que involucra un cierto número de operaciones cognitivas indexadas por Potenciales Relacionados con Eventos (PREs). Este estudio explora cómo diferentes PREs, involucrados en la selección de un estímulo objetivo, están relacionados con la edad.

Estos procesos han sido estudiados extensamente durante la selección basada en ciertas características como color, orientación, etc. La selección de objetivos basados en características no espaciales, tales como color o forma, inducen un PRE negativo, la denominada Selection Negativity (SN), la cual comienza entre los 140 y 180 ms después de la presentación de un estímulo y persiste durante unos 200 ms aproximadamente (Hillyard y Anllo-Vento, 1998). Esta SN refleja la selección de un estímulo visual en una etapa temprana de procesamiento de la información (Wijers y cols., 1989). Se ha propuesto que la representación neural de la característica por la cual se selecciona debe ser activada para permitir la adecuación entre el estímulo presentado y la característica de selección. Este tipo de selección de estímulos se basa en un análisis rápido de las características físicas del estímulo que ocurre con anterioridad al análisis en profundidad de todas las propiedades del estímulo. Sin embargo, es también posible imaginar un paradigma experimental en

el cual la selección podría tener lugar mediante la diferenciación del ítem presentado a partir de una cierta imagen activada endógenamente. Esto podría ser, por ejemplo, el caso de los niños buscando dibujos de jugadores de futbolistas o pokemons que todavía no tienen en su colección. Aunque esta situación descrita es común en la vida de los niños, no ha sido estudiada demasiado. En el paradigma experimental del presente estudio, los estímulos novedosos visuales son los estímulos objetivos, y ello con el fin de explorar los mecanismos implicados en la selección de nuevos elementos. El componente SN aparece en la onda de diferencia, donde el PRE elicitado por un estímulo cuyas características no han sido atendidas se resta del PRE elicitado por el mismo estímulo cuando sus características relevantes han sido atendidas. La latencia del SN indicaría el tiempo empleado en el proceso de selección, mientras que la topografía de las ondas y la localización de las fuentes del componente SN nos informaría acerca de las áreas cerebrales involucradas en la selección atencional de las características de diferentes estímulos. Las fuentes cerebrales del componente SN, durante la atención al color en jóvenes adultos, aparecen durante un intervalo de 160 a 350 ms post-estímulo y se centran en la corteza visual posterior (Anllo-Vento y cols., 1998). Van der Stelt y cols., (1998), en un estudio de desarrollo usando un paradigma de selección de color, encontraron el componente SN en una distribución negativa occipito-temporoparietal en un rango de

latencia de 150-300 ms. El componente SN fue claramente visible para los sujetos entre 19-24 y 16-18 años de edad respectivamente, y en menor medida en los sujetos más jóvenes. Esta negatividad fue precedida por una Positividad de Selección Fronto-Polar (Frontal Selection Positivity (FSP)) y seguida por un componente P3b que mostró un decrecimiento en su latencia con la edad. En un estudio comparando niños con Trastorno por Déficit de Atención (TDA) con niños controles, en edades comprendidas entre los 7 y 13 años de edad, en una tarea de atención selectiva en la modalidad visual, Jonkman y cols., (2004), encontraron una SN en la región occipital, en el electro Oz, desde los 200 a los 280 ms en ambos grupos de edad. Propusieron que la fuente neural del componente SN en el grupo de niños control y TDA está justificada por un par de dipolos posteriores. Estos resultados indican que los mecanismos de selección están también operando en los niños durante las tareas atencionales. Sin embargo, no se conoce si el componente SN aparece en los niños cuando un estímulo novedoso y desconocido se compara con un estímulo frecuente.

Simultáneamente al componente SN, aparece el componente frontal P2. Está relacionado con la selección de características relevantes y, dependiendo del paradigma experimental, puede conducir al reconocimiento del objetivo. El componente frontal P2, está también relacionado con el procesamiento del objetivo. Este componente P2 también ha sido descrito como P2a, P2f, componente

Frontal Polar (FP) y FSP (Kenemans y cols., 1993; Potts, 2004)), cuyas latencias al pico del componente aparecen alrededor de los 200 ms después del estímulo relevante. Este componente ha sido relacionado con el procesamiento de los estímulos relevantes en la transición de la selección de características relevantes a la selección de respuestas (Makeig y cols., 1999). Sin embargo, dado que el componente P2 mostró un incremento en ambos tipos de respuestas, abiertas y encubiertas, Potts (2004), sugirió que el componente P2a está relacionado con la tarea de procesamiento de estímulos relevantes en lugar de la selección de respuestas motoras. En cuanto al desarrollo del componente P2, se ha encontrado un incremento en la amplitud con la edad, en la modalidad auditiva (Oades y cols., 1997). En la modalidad visual, Van der Stelt y cols., (1998), no encontraron diferencias en la amplitud de los diferentes grupos de edad, pero sí encontraron un decremento en la latencia con la edad. En el estudio realizado por Jonkman y cols., (2004), el FSP del grupo de niños control apareció tempranamente en las áreas posteriores, y más tardíamente en las áreas frontales. A partir de aquí, nosotros usaremos la terminología FSP para la positividad frontal (alrededor de los 200 ms post-estímulo) cuando nos referimos a las ondas de diferencia de PREs inducidas por un estímulo objetivo menos los PREs inducidos por los estímulos estándares, y P2f y P2p para un PREs positivo inducido por un objetivo en las zonas frontales o posteriores alrededor de los 200 ms respectivamente.

Cuando se presenta un estímulo no frecuente, sea estímulo objetivo o no objetivo para la respuesta motora, se induce un componente positivo P300, con una latencia de alrededor de 300 ms post-estímulo. Este componente fue primeramente observado por Sutton (1965) y presenta dos subcomponentes: el componente P3a con una topografía frontocentral y una latencia de aproximadamente 250-300 ms, y el subcomponente P3b, el cual ocurre más tardíamente y es observado en la zona parietal. Este componente tardío corresponde a un componente positivo, elicitado alrededor de los 300 ms después de aparecer el estímulo no frecuente (Duncan y cols., 1977; Squires y cols., 1976), y su amplitud está inversamente relacionada con la probabilidad de la aparición del estímulo. Donchin y Coles (1988) propusieron que el componente P3b podría representar una operación de adaptación de la memoria de trabajo al contexto y el almacenamiento posterior en la memoria (Polich, 2007). Por el contrario, Mangun y Hillyard (1991), en el paradigma de claves centrales de Posner, mostraron que los adultos presentaron un incremento del componente P3b para señales inválidas comparadas con las señales válidas, e interpretaron este incremento como una reacción a las expectativas fallidas. Verleger y cols., (2005), sugirieron que el componente P3b está relacionado con la vinculación entre percepción de estímulos y las respuestas a los mismos. Polich (2007) propuso que el componente P3b está

relacionado con la neuro-inhibición, necesaria para centrar la atención en las tareas relevantes, reduciendo la interferencia en los sistemas de memoria (Polich, 2007). El componente P300 o P3, también denominado en términos generales Componente Positivo Tardío (Late Positive Component (LPC)), puede ser elicitado por estímulos objetivo (target-P3) que deben ser discriminados entre distractores, o puede ser elicitado por estímulos distractores raros o poco frecuentes (novel P3).

Otro subcomponente del P300 es el P3a, generado como una respuesta del cerebro a un estímulo que resulta novedoso comparado con otros estímulos más frecuentes (Escera y cols., 1998; Friedman y cols., 2001). El componente P3a presenta dos subcomponentes a su vez, el P3a temprano y el P3a tardío, respectivamente (Escera y cols., 1998). Un P3a de gran amplitud (Friedman y cols., 2001; Dien y cols., 2003) podría indicar que un estímulo se procesa como un estímulo novedoso que requiere un cambio de atención (Polich, 2007). El componente P3a se elicitaba también cuando se produce un cambio en las reglas de la tarea (Barceló y cols., 2002; Barceló y cols., 2006). Se ha propuesto también, que tanto la frecuencia de la presentación de estímulos como la expectativa subjetiva respecto de su aparición, están relacionadas con la generación del componente P3a. (Gómez y cols., 2008; Digiacomo y cols., 2008). Las lesiones del lóbulo frontal producen un decrecimiento de la amplitud del componente

P3a. Sin embargo, el componente P3b registrado en las áreas posteriores no sufre alteraciones con las lesiones localizadas en el lóbulo frontal (Knight y Scabini, 1998; Lovstad y cols., 2012). La reducción que presenta el componente P3a tras las lesiones no sólo se produce por los daños localizados en el córtex prefrontal lateral sino por las lesiones en el córtex orbitofrontal (Lovstad y cols., 2012). Sin embargo, las lesiones en la unión temporoparietal reducen la amplitud en ambos componentes. Por tanto, los generadores de los componentes P3a y P3b están distribuidos. El componente P3a presenta una alta dependencia de las áreas frontales y la unión temporoparietal, mientras que el P3b no depende de las áreas frontales, y sus fuentes están distribuidas principalmente por áreas posteriores (Bledowski y cols., 2004).

Varios estudios han analizado las amplitudes y latencias de los componentes endógenos P3a y P3b auditivos durante el desarrollo de la infancia en sujetos control. Usando la tarea Oddball de tres estímulos (estándar, objetivos repetidos y distractores novedosos), Määttä y cols., (2005) analizaron los PREs de niños de 8 a 9 años de edad y adultos de 22 a 28 años. Estos autores reportaron un P3a máximo en el área frontal en los niños mientras que los adultos presentaron su máximo en las áreas centrales. En otro estudio llevado a cabo por Fuchigami y cols., (1995), observaron que la latencia para ambos componentes, P3a y P3b, decreció con la edad y que el componente P3a maduraba más

tempranamente que el componente P3b. Oades y cols., (1997) también obtuvieron una disminución de la latencia con el aumento de la edad para el componente P3b. Otros estudios, sin embargo, usando la tarea auditiva go-nogo con sujetos entre 7 y 25 años, reportaron que aunque los sujetos más jóvenes producían un componente P3b, el componente P3a mostró patrones inconsistentes. Segalowitz y Davies (2004) encontraron que niños de 13 años de edad mostraron un P3a auditivo con el mismo patrón que los adultos. Gumenyuk y cols., (2004), usando el paradigma de distracción con niños entre 8 y 13 años de edad, informaron de la presencia de un componente P3a en la modalidad auditiva. Wetzel y Schröger (2007) encontraron un componente P3a para sonidos novedosos en niños de 6 a 8 años de edad. El P3a auditivo ha sido elicitado en niños de 2 a 3 años de edad por la estimulación con sonidos novedosos y una variedad de diferentes características desviantes con respecto a los estímulos estándar (Putkinen y cols., 2012). Dada la falta de madurez del córtex frontal en niños de 2 a 3 años de edad, se han propuestos generadores del córtex auditivo para explicar la presencia de un componente P3a en niños pequeños. El desarrollo del componente P3a auditivo ha sido revisado por Wetzel y Schröger (2014). Con respecto al P3b auditivo, lo más frecuentemente reportado es un incremento en la amplitud desde la infancia a la adultez (Segalowitz y cols., 2010).

Pocos estudios han analizado el P3 en la modalidad visual en niños. Stige y cols., (2007) analizaron dos grupos de edad (6.8-15.8 y 20-88.8 años de edad), presentándoles una tarea Oddball de tres estímulos y encontraron que la maduración del componente P3a era más temprana que la del componente P3b. Estos autores mostraron que la latencia del componente P3a se incrementa con la edad y la amplitud, por el contrario, decrece. El componente P3b no cambió su latencia y mostró una reducción no lineal de la amplitud con la edad. Por el contrario, Courchesne (1978) no encontró un componente P3a visual en niños, pero ha reportado latencias y amplitudes mayores para el componente P3b en niños que en adultos. Adicionalmente, en este estudio, se ha encontrado una negatividad frontal alrededor de los 400 ms (Nc) y una positividad tardía frontopolar alrededor de los 900 ms (Pc) en niños, pero no estaba presente en adultos. Desde estos resultados, el autor concluye que estas diferencias se deben a diferentes procesamientos de los eventos en niños, jóvenes y adultos.

Además de los componentes descritos anteriormente, se han descrito otros, como parte del proceso de selección de características y post-procesamiento del estímulo objetivo, respectivamente. Estos componentes han sido: el componente de distribución frontocentral N2b, que aparece en un rango temporal de 200-450 ms, y el componente denominado Negatividad de

Procesamiento Tardía (Late Processing Negativity (LPN)), también denominado Onda Lenta (Slow Wave (SW)), en un rango temporal de 300 y 700 ms y de distribución frontal.

Aunque hay algunas inconsistencias en los resultados reportados sobre el desarrollo de PRE, particularmente en el caso concreto del componente P3a, se ha establecido de hecho que la maduración de las cortezas sensoriales primarias posteriores, ocurre antes que en las cortezas de asociación de orden superior, incluyendo el córtex dorsolateral prefrontal, giro temporal superior y parietal inferior (ver revisión por Giedd y cols., (2009)). La maduración tardía de los componentes ERPs frontales se ha propuesto para los casos de la Variación Negativa Contingente (Contingent Negative Variation (CNV)) y para la Negatividad Relacionada con el Error (Error Related Negativity (ERN)), (Segalowitz y Davies, 2004; Bender y cols., 2005; Flores y cols., 2009), el componente motor de la CNV (Bender y cols., 2005; Flores y cols., 2009), el Potencial Lateralizado de Preparación (Lateralized Readiness Potencial (LRP)) (Chiarenza y cols., 1983) y para la Onda Lenta Negativa (Negative Slow Wave (NSW)) (Barriga-Paulino y cols., 2014), un componente relacionado con la retención de ítems en las tareas de memoria de trabajo. Todos estos resultados sugieren que es posible, a pesar de algunos resultados contradictorios, sostener que la maduración frontal retardada en el plano anatómico pueda estar siendo expresada

como una maduración más lenta de los componentes PREs frontales.

El presente estudio se centra en los PREs relacionado con el proceso de selección de estímulos, en concreto, en el paradigma de la selección de estímulos objetivo novedosos entre una secuencia de estímulos estándares. Este estudio está motivado por el bajo número de estudios relacionados con la maduración de PREs en la modalidad visual durante la selección de estímulos y por la variabilidad en los resultados obtenidos. El presente estudio proporciona una visión global de PREs que indexan procesos de selección de estímulos novedosos comparados con la aparición de estímulos repetidos, y que permiten discernir el papel del lóbulo frontal en la maduración en estos procesos.

## **11. HIPÓTESIS**

1. La estrategia de cautela que adoptan los sujetos más pequeños en los paradigmas de búsqueda visual ocurre también en la tarea de rareza visual (Oddball).
2. Los PREs atencionales generados en las áreas posteriores, componente P3b y SN, ocurre antes que la maduración de los PREs generados en áreas frontales: FSP, P3a, SW.

## 12. MÉTODO

### 12.1. Muestra

Este experimento incluye una muestra de 167 sujetos con edades comprendidas entre los 6 y 26 años -4 hombres y 4 mujeres por cada grupo de edad- (Tabla 3). Para el análisis de la electroencefalografía se excluyeron 12 sujetos debido a un exceso de ruido. En el conjunto de la muestra hubo 143 sujetos diestros y 12 zurdos. Los sujetos zurdos se mantuvieron para generalizar los resultados a toda la población. El grupo de varones estaba formado por 80 sujetos (media de edad  $16.14 \pm 6.15$ ), 73 de los cuales eran diestros y 7 zurdos. El grupo de mujeres estaba compuesto por 75 sujetos (media de edad  $16.68 \pm 5.88$ ), de las cuales 70 eran diestras y 5 zurdas. Los sujetos que participaron en el experimento no presentaban enfermedad neurológica o psicológica. Aunque 12 sujetos fueron excluidos de los análisis EEG, como se indicó más arriba, en el análisis conductual todos los sujetos fueron incluidos para acrecentar el poder analítico.

Todos los participantes lo hicieron voluntariamente y de acuerdo al Protocolo de Helsinki. Los sujetos mayores de edad procedían de la Universidad de Sevilla. Acudieron motivados por

anuncios que se exhibieron en los tablones de diversas Facultades. Los menores de edad, en su mayoría, procedían de un colegio concertado de Sevilla, situado en un barrio céntrico de dicha ciudad. Los sujetos menores de edad realizaron las pruebas tras la firma consentida por parte de los padres o tutores legales de acuerdo con el protocolo de Helsinki. No obstante, fue clave el consentimiento informado de todos los participantes, tanto menores como mayores de edad.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Sevilla.

Muestra	Número	Mujeres %	Hombres %	Media edad	Std
Completa	16	50.9	49.	15.	6.0
Grupo: 6-9 años	33	51.5	48.	7.4	1.1
Grupo: 10-13	32	53.1	46.	11.4	1.1
Grupo: 14-17	32	50.0	50.	15.	1.1
Grupo: 18-21	33	48.4	51.	19.5	1.1
Group: 22-26	37	51.3	48.	24.0	1.4
Reducida	15	48.3	51.	16.	5.9
Grupo: 6-9 years	25	44	5	7.3	1.1
Grupo: 10-13	28	46.4	53.	11.5	1.2
Grupo: 14-17	32	50	5	15.	1.1
Grupo: 18-21	31	48.3	51.	19.5	1.1
Grupo: 22-26	39	51.2	48.	24.0	1.4

**Tabla 3:** Resumen de las variables demográficas de la muestra total y reducida.

## **12.2. Estímulos**

Los estímulos utilizados fueron de tipo visual. Se eligieron una serie de personajes de dibujos animados de TV obtenidos de Internet. Se cuidó de no elegir dibujos excesivamente populares para que los sujetos no los asociasen con su nombre y evitar, en la medida de lo posible, la utilización de estrategias verbales a la hora de procesar el estímulo objetivo. El tamaño de los estímulos fue ajustado en el programa Picassa de modo que todas las figuras tuviesen las mismas dimensiones 142 x 228 píxeles.

## **12.3. Paradigma y procedimiento**

En el estudio que presentamos en este segundo experimento se usó el paradigma de rareza visual (Oddball). El primero en utilizar el paradigma Oddball fue Squires (1975). El objetivo de estos paradigmas es estudiar la reacción de los sujetos ante estímulos novedosos y el procesamiento de la información contenida en estos estímulos. Ello ha hecho de este paradigma un clásico para el estudio de la atención.

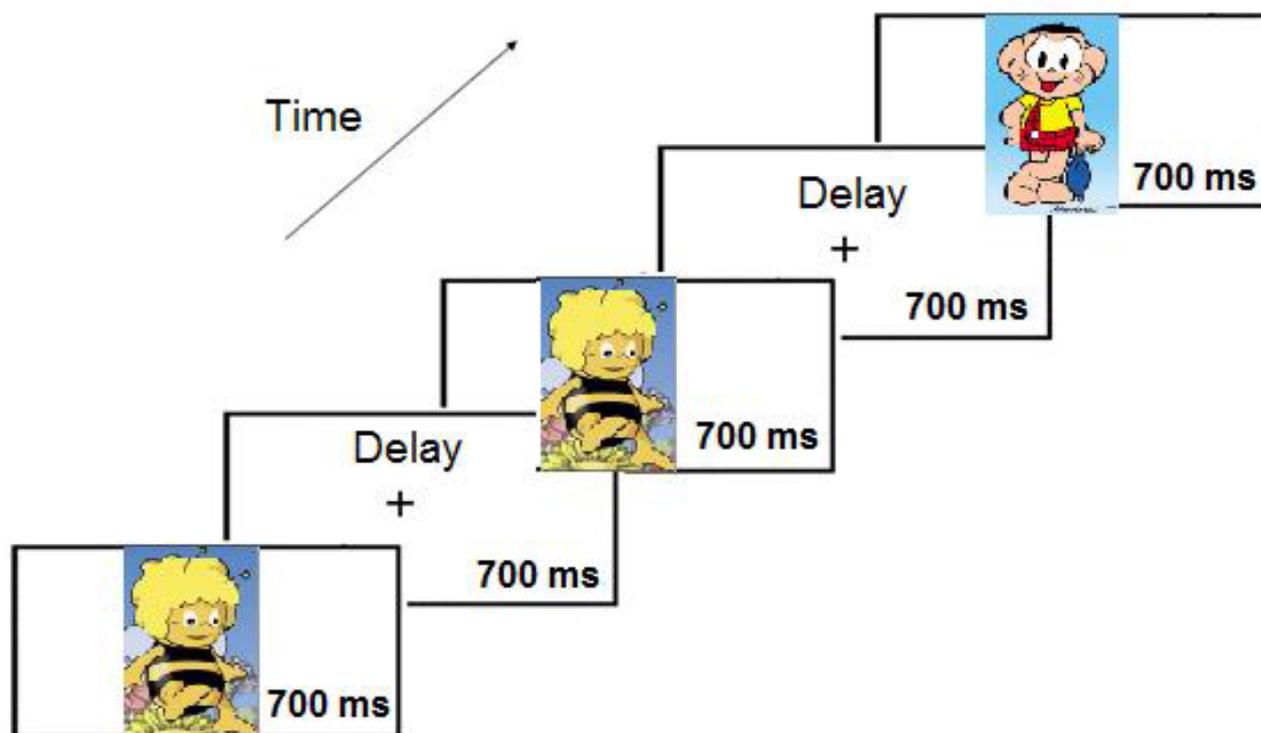
El paradigma Oddball, en la modalidad presentada aquí, consiste en la presentación de unos estímulos que se consideran novedosos

(condición estímulo objetivo) frente a otros que se presentan con mucha frecuencia (condición estándar o estímulo no objetivo). Los sujetos son adiestrados para que contesten de manera motórica cuando aparezca el estímulo estándar. Estos estímulos pueden ser de naturaleza visual (como ocurre en nuestra prueba) o auditiva. El objetivo que tienen es el de originar PREs ante la aparición del estímulo objetivo, y que nos indiquen como está siendo procesado este estímulo.

El programa de estimulación utilizado para la realización de la prueba fue el E-Prime, en su versión 2.0. El registro de las respuestas emitidas por los sujetos se registró con la caja de respuestas SRBOX, de la marca Cedrus.

El paradigma visual Oddball utilizado en el Experimento II corresponde al tipo de estímulo objetivo. Estuvo compuesto por un total de 120 ensayos, de los cuales un 25% de ellos eran estímulos novedosos y los restantes, 75% consistieron en estímulos estándares o no novedosos.

Los estímulos fueron presentados en el centro de la pantalla de un ordenador con una duración de 700 ms, con un ISI de 700 ms., cubriendo un ángulo visual de  $4.56^\circ$  en el centro de la pantalla (Figura 21).



**Figura 21:** Un ejemplo de ensayo de paradigma Oddball. Presentación de una secuencia de dibujos animados donde la abeja es el estímulo estándar. El sujeto tenía que responder al estímulo objetivo (dibujos distintos a la abeja).

A los sujetos se les explicó cuál era el estímulo objetivo y fueron instruidos a presionar con la mano dominante el botón azul de la caja de respuestas cuando apareciera el estímulo novedoso. Los sujetos fueron registrados en diferentes momentos del día, entre las 12 AM y las 8 PM.

La ventana de respuesta fue de 1400 ms. Se presentó sólo un bloque que constaba de 90 estímulos frecuentes y 30 estímulos infrecuentes. El orden de presentación de los estímulos frecuentes e infrecuentes fue aleatorio. Los registros se obtuvieron promediando 32 puntos del cuero cabelludo siguiendo el Sistema Internacional (Fp1, Fpz, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, FC5, FC1, FC2, FC6, M1, T7, C3, Cz, C4, T8, M2, CP5, CP1, CP2, CP6, P7, P3, Pz, P4, P8, POz, O1, Oz, O2) usando electrodos de estaño montados en un gorro (ELECTROCAP). Se registraron los movimientos oculares: dos de los electrodos se situaron en las zonas laterales para registrar los movimientos horizontales (HD, HI) y se utilizaron otros dos para los movimientos verticales, situados uno por encima del párpado superior y otro debajo del párpado inferior, ambos del ojo izquierdo (VS, VD). Durante el registro se utilizó una referencia promedio, y posteriormente, todos los electrodos del cuero cabelludo fueron re-referenciados off-line a la media de los mastoides  $(M1 + M2)/2$ . La impedancia fue mantenida por debajo de los 10 k $\Omega$ . Los datos fueron registrados con corriente continua (CC) a 512 Hz de tasa de

muestreo, con una ganancia de 20.000 usando un amplificador digital (AD) y un programa de registro (ASA, de la marca ANT). Los datos no se filtraron durante el registro.

Preguntamos a los sujetos si estaban tranquilos y les pedimos que miraran a la pantalla e intentaran no parpadear, por lo menos durante la emisión de la respuesta. El EEG fue analizado con EEGLAB (Delorme A. y Makeig S., 2004). Antes de aplicar el Análisis de Componentes Independientes, los datos obtenidos se filtraron con un filtro de paso alto (con un corte de frecuencia de 1 Hz) y uno de paso bajo (corte de frecuencia de 25 Hz). El punto de corte de frecuencias se estableció siguiendo el criterio clínico de PREs (Oken, 1997). Para eliminar la interferencia de la línea de alimentación de CA, los artefactos de parpadeo y musculares en el EEG, se realizó un Análisis de Componentes Independientes (Bell y Sejnowski, 2011). El criterio para determinar estos componentes artefactuales fue el mapa de distribución del cuero cabelludo, su evolución en el tiempo y la potencia espectral. El componente independiente que explica el parpadeo ocular mostró una localización frontal coincidiendo con el parpadeo registrado y mostrando una baja frecuencia en la potencia espectral. Los artefactos musculares estaban localizados en los electrodos temporales y presentaron una ráfaga de alta frecuencia. Estos componentes se eliminaron y la señal de EEG fue reconstruida. Se obtuvieron épocas de 1600 ms: de 200 ms pre-estímulo a 1400 ms post-estímulo. La línea base estaba en un período de -50 a 0 ms

en cada época. Los PREs se obtuvieron promediando en el tiempo las épocas individuales. Se eliminaron 12 de los 167 sujetos registrados, sólo para el análisis del EEG, debido al alto número de parpadeos que contaminaron los resultados. Los registros se promediados off-line una vez rechazados los artefactos usando un protocolo de rechazo basado en la amplitud de voltaje. Las épocas con potenciales registrados que superaron  $\pm 100$  mV en los registros de sujetos de 16 años de edad y de  $\pm 150$  mV en los registros de los sujetos de hasta 15 años de edad, en cualquier canal, se rechazaron para su posterior análisis, con el fin de eliminar la contaminación extra-cerebral.

La aplicación de distintos valores de voltaje en niños y adultos fue debido a la diferencias en la potencia espectral de ambos grupos. Los niños presentan mayor potencia espectral que los adultos (Barriga Paulino y cols., 2011; Rodríguez-Martínez y cols., 2012). Si se hubiera aplicado a todos los sujetos un voltaje de  $\pm 100$   $\mu$ V, valor generalmente aplicado en adultos, se hubiera perdido un número muy elevado de épocas válidas. Los PREs obtenidos en los niños presentaron un nivel de ruido similar al de los adultos (ver figuras 23 y 24), por ello, se consideró apropiado escoger distintas ventanas de voltaje para el rechazo de artefactos, para eliminar los ruidos y no distorsionar los resultados a nivel de inter-grupo e intra-grupo. El número de ensayos promediados para cada condición y grupo de edad se muestra en la Tabla 4.

Grupos edad Años	Media		Mínimo		Máximo	
	Std	T	Std	T	Std	t
6-9	65.24	22.08	39.00	13.00	85.00	30.00
10-13	66.86	23.82	30.00	11.00	87.00	30.00
14-17	76.75	24.10	51.00	10.00	90.00	30.00
18-21	78.65	26.84	47.00	12.00	90.00	30.00
22-26	80.21	27.33	52.00	20.00	89.00	30.00

**Tabla 4:** Número de ensayos aceptados para promediar en los diferentes grupos de edad. Los estímulos objetivos y estándares se promediaron por separado. Desviación estándar (Std), condición estímulo objetivo (T).

Las variables conductuales obtenidas fueron los TRs, errores y los parámetros derivados de la teoría de detección de señales. Se computó la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los TRs para todos los sujetos de manera individual, al igual que la media para los distintos tipos de errores: falsas alarmas (respuestas a estímulos estándares), omisiones, anticipaciones (respuestas dadas anteriores a los 200 ms), total de errores, parámetros  $d'$  y C. Para calcular los parámetros  $d'$  y C se siguieron las ecuaciones siguientes (Stanilaw, H., y Todorov, N., 1999)

$$d' = \theta^{-1}(H) - \theta^{-1}(F)$$

$\theta^{-1}(H)$ : valores Z de los porcentajes de aciertos (hits).

$\theta^{-1}(F)$ : valores Z de los porcentajes de falsas alarmas.

Los valores positivos altos están relacionados con una alta sensibilidad mientras que los valores cero indican baja sensibilidad. Los valores negativos podrían indicar pobre comprensión de las instrucciones dadas sobre la ejecución de la prueba.

$$C = (\theta^{-1}(H) - \theta^{-1}(F)) / 2$$

Los valores positivos del parámetro C se obtienen cuando los sujetos muestran unas respuestas con sesgo conservativo. C adquiere valor negativo cuando se responde con un sesgo liberal y, son cero cuando indican una tendencia neutral a responder (no sesgada).

### **13. ANÁLISIS DE DATOS**

#### **13.1. Análisis conductual**

Las trayectorias de desarrollo de las diferentes medidas conductuales (TRs, desviación estándar de TRs, coeficiente de variación de TRs, falsas alarmas, omisiones, anticipaciones, errores totales, parámetros  $d'$  y C) se obtuvieron por regresión respecto de la edad (en días). Se analizaron mediante los modelos lineal e inverso.

### 13.2. Análisis PREs

Los PREs se obtuvieron de manera independiente para los distintos grupos de edad (Niños: 6-9 años; Preadolescentes: 10-13 años; Adolescentes: 14-17 años; Jóvenes adultos: 18-21; Adultos: 22-26 años).

En el presente estudio, el interés estuvo en la SN (Selection Negativity), FSP (Frontal Selection Positivity) y los efectos de modulación de los componentes P3a, P3b y SW (Slow Wave), los cuales incrementan su amplitud con la aparición de un estímulo objetivo frente a estímulos estándares. La onda de diferencia se calculó hallando la diferencia entre los PREs inducidos por la aparición de un estímulo estándar y los PREs inducidos por un estímulo objetivo. Las ventanas temporales elegidas fueron: para FSP y SN se escogió un intervalo de 200-280 ms; para el P3a de 340-380 ms, para P3b y SW de 380-500 ms. La estadística está basada en la comparación entre los PREs en las condición estímulo estándar vs. condición estímulo objetivo; por ejemplo, para encontrar si había una FSP significativa, se analizó si existían diferencias estadísticamente significativas entre P2 en la condición estímulo objetivo respecto a la condición estándar (lo mismo se realizó para SN, SW, P3a, P3b).

En el grupo de los niños, después de promediar y analizar los PREs y las topografías, era evidente que el componente FSP estaba

retrasado en comparación con los otros grupos de edad, por esta razón se procedió a elegir latencias para FSP en niños de menor edad de 280-360 ms. Igualmente, el grupo de preadolescentes presentaba un retraso en el componente P3a y, al igual que en el caso anterior, se eligió un intervalo diferente, comprendido entre 490-530 ms. Por esta misma razón, se seleccionó una ventana temporal entre 530-700 ms para analizar el P3b en niños y preadolescentes.

El componente N2b no fue evidente en los registro y no se analizó.

Los mapas topográficos de ondas de diferencia se obtuvieron en las ventanas temporales seleccionadas. Teniendo en cuenta la extensa literatura sobre topografía de estos componentes y la replicabilidad de la topografía de los componentes en los cinco grupos de edad que teníamos para el estudio, se eligieron los siguientes electrodos para el análisis estadístico de los PREs: para el componente FSP se escogieron los electrodos FP1, FPz y FP2; los electrodos P3, Pz, P4, POz, O1, Oz Y O2 para el componente SN; F3, Fz, F4, FC1 y FC2 para el componente P3a; para el componente P3b los electrodos fueron P3, Pz, P4, POz, O1, Oz y O2 y por último FP1, FPz y FP2 para el componente SW.

### 13.3. Análisis estadístico PREs

Se calculó un modelo mixto de ANOVA de manera independiente para cada uno de los componentes. El factor inter-sujetos correspondió a los cinco grupos de edad. Los factores intra-sujetos fueron la condición experimental (condición estímulo objetivo y condición estándar) y los electrodos (dependiendo de los componentes). Cuando se obtuvo una interacción entre el efecto de la condición y el grupo de edad, se aplicó la corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples en los t-tests de comparación entre las medias de los voltajes de los PREs en la condición estándar y en la condición estímulo objetivo, en cada grupo de edad. Estas comparaciones revelaron si los PREs en la condición estímulo objetivo eran estadísticamente diferente de PREs elicitados por la condición estándar para los diferentes grupos de edad.

Se reportan los efectos principales de cambios en la amplitud con la edad y electrodos, pero no se exploran con el test post-hoc, debido a que no se corresponde con un interés prioritario en el presente estudio. La latencia de los diferentes componentes en las diferentes ondas se estimó por las funciones de mínimo y máximo en Matlab, para cada electrodo seleccionado y para cada componente. Se usaron ventanas de tiempo más amplias, distintas a las mencionadas anteriormente, para encontrar los picos de los

componentes: FSP (Fpz: 200-360 ms); SN (POz: 260-360 ms); P3a (Fz: 340-530 ms); P3b (Pz: 380-700 ms) y SW (FPz: 380-700 ms).

Se calculó la correlación de Spearman entre los parámetros (amplitud y latencia en el pico) de los diferentes componentes PREs y la nueve medidas conductuales incluidas en el presente estudio.

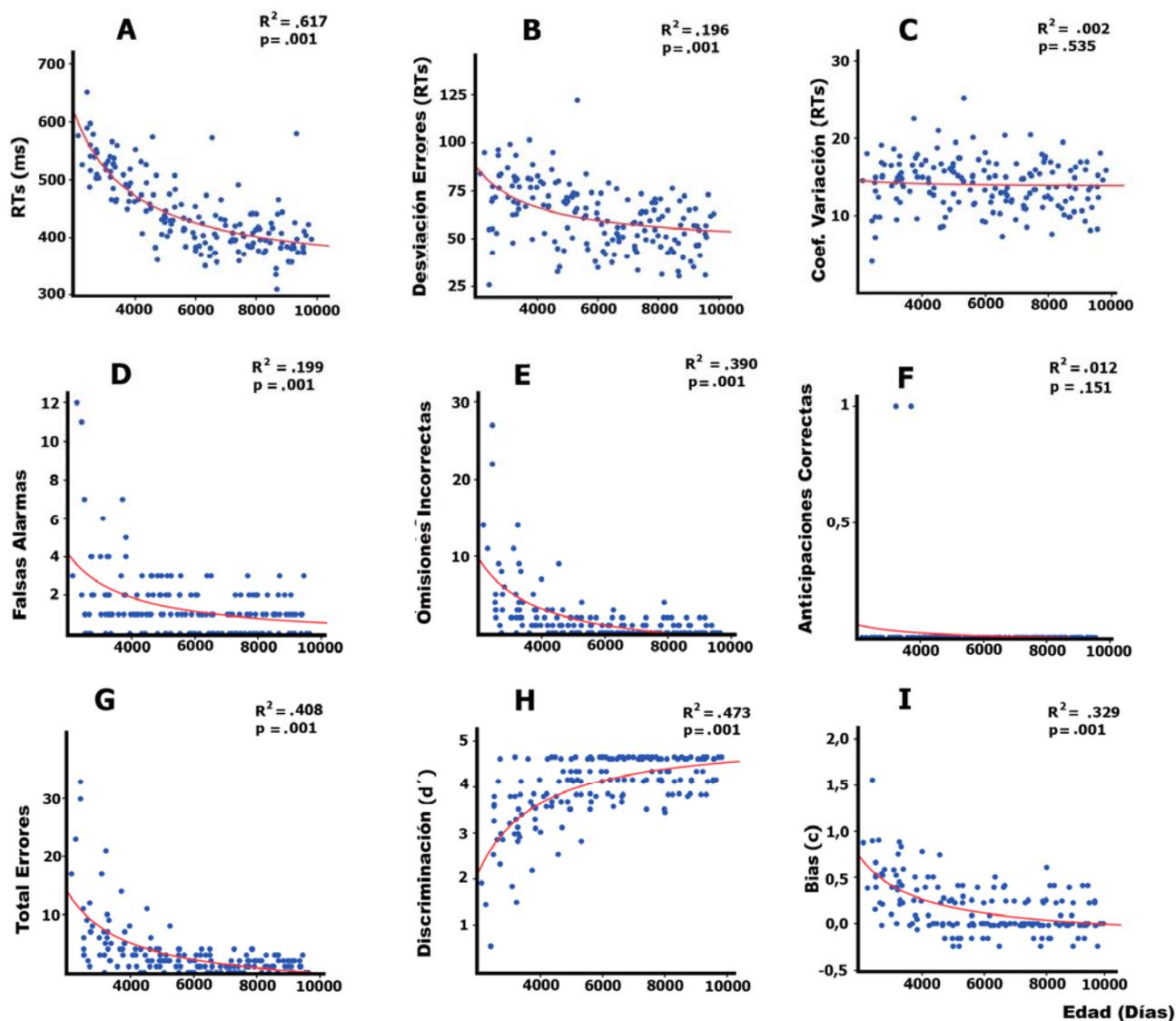
## **14. RESULTADOS**

### **14.1. Medidas conductuales**

Se obtuvieron las regresiones lineales e inversas entre la edad de los sujetos y los diferentes parámetros conductuales como TRs, errores, y los parámetros de detección de señales, y se muestran en la Figura 22.

Se calcularon los modelos lineal e inverso y se encontró que explicaba más varianza el modelo inverso que el lineal. El mejor ajuste se obtuvo mediante los valores de  $R^2$ . El análisis estadístico de regresión entre las medias de TRs respecto a la edad (en años) (Figura 22(A)) y la desviación estándar de TRs frente a la edad (años) (Figura 22(B)), mostró una relación inversa significativa entre las variables. El coeficiente de variación no mostró relaciones estadísticamente significativas con la edad (Figura 22(C)). La mayoría de los errores fueron debidos a falsas alarmas cuando se presentó el

estímulo estándar (Figura 22(D)) y omisiones al estímulo objetivo (Figura 22(E)). Los errores menos frecuentes fueron las anticipaciones, aunque también mostraron una relación inversa con la edad (Figura 22(F)). El error total (suma de todos los tipos de errores) presentó una relación inversa significativa con respecto a la edad (Figura 22(G)). El parámetro  $d'$  creció con la edad (Figura 22(H)), y el parámetro de respuestas C decreció con la edad (Figura 22(I)), indicando un incremento en la discriminación perceptual ( $d'$ ) y una transición desde un sesgo de respuesta conservadora a neutral (parámetro C) con la edad. La Tabla 5 muestra los valores de los parámetros conductuales para cada grupo de edad.



**Figura 22:** Regresiones usando el modelo inverso entre la edad expresada en días y los parámetros conductuales: TRs (A); desviación estándar de los TRs (B); coeficiente de variación de los TRs (C); falsas alarmas a los estímulos objetivo (D); omisiones a estímulos objetivo (E); anticipaciones a estímulos objetivo (F); errores totales (G); parámetro de sensibilidad  $d'$  (H); y sesgo de respuestas (C) (I). Los errores fueron expresados en porcentajes para cada categoría.

Edad Grupos	TRs		SD de TRs		CV		Número Falsas Alarmas		Número de Omisiones	
	Años	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media
<b>6-9</b>	537.38	41.09	72.41	18.00	13.9	3.2	2.55	2.83	5.76	6.12
<b>10-13</b>	493.44	39.90	74.95	12.73	15.0	3.4	1.87	1.52	1.80	2.07
<b>14-17</b>	427.92	34.58	63.92	17.05	14.2	3.5	1.18	1.02	0.71	1.05
<b>18-21</b>	410.53	44.80	52.59	11.44	13.9	2.8	0.75	0.90	0.57	0.93
<b>22-26</b>	399.37	39.24	54.80	12.52	13.2	3.0	0.91	0.86	0.48	0.73

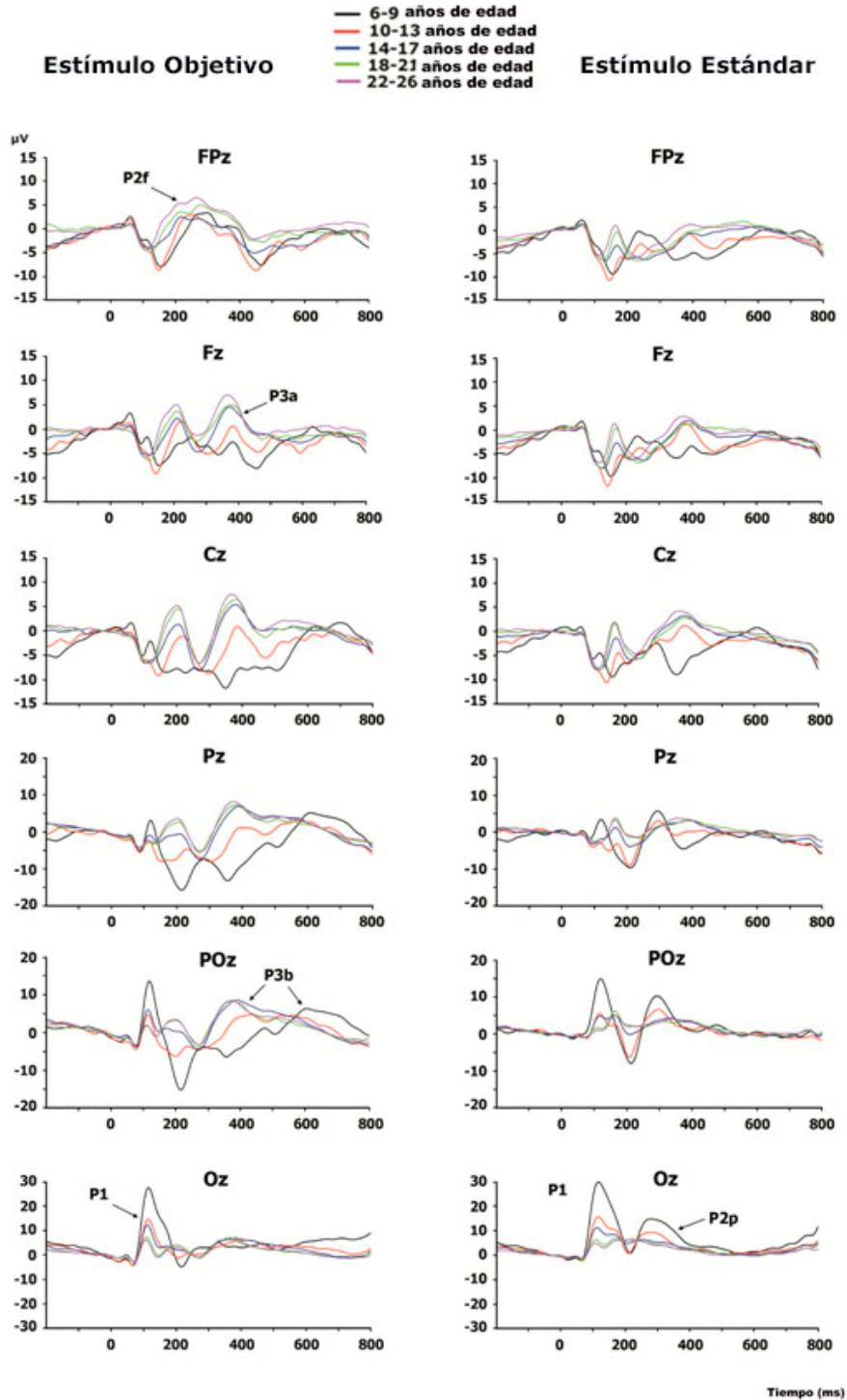
Edad Grupos	Número Anticipaciones		Número total Errores		d'		C	
	Años	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media
<b>6-9</b>	0.02	0.17	8.35	7.91	2.90	1.07	0.50	0.34
<b>10-13</b>	0.03	0.17	3.70	2.92	3.62	0.62	0.30	0.28
<b>14-17</b>	0.00	0.00	1.90	1.57	4.08	0.46	0.06	0.20
<b>18-21</b>	0.00	0.00	1.33	1.31	4.32	0.38	0.08	0.17
<b>22-26</b>	0.00	0.00	1.40	0.95	4.33	0.34	0.05	0.19

**Tabla 5:** Media y Desviación Estándar de los nueve parámetros conductuales en los cinco grupos de edad. Tiempos de reacción (TRs), Desviación estándar (DS), Coeficiente de variación (CV), índice de sensibilidad (d'), índice del sesgo de respuesta (C).

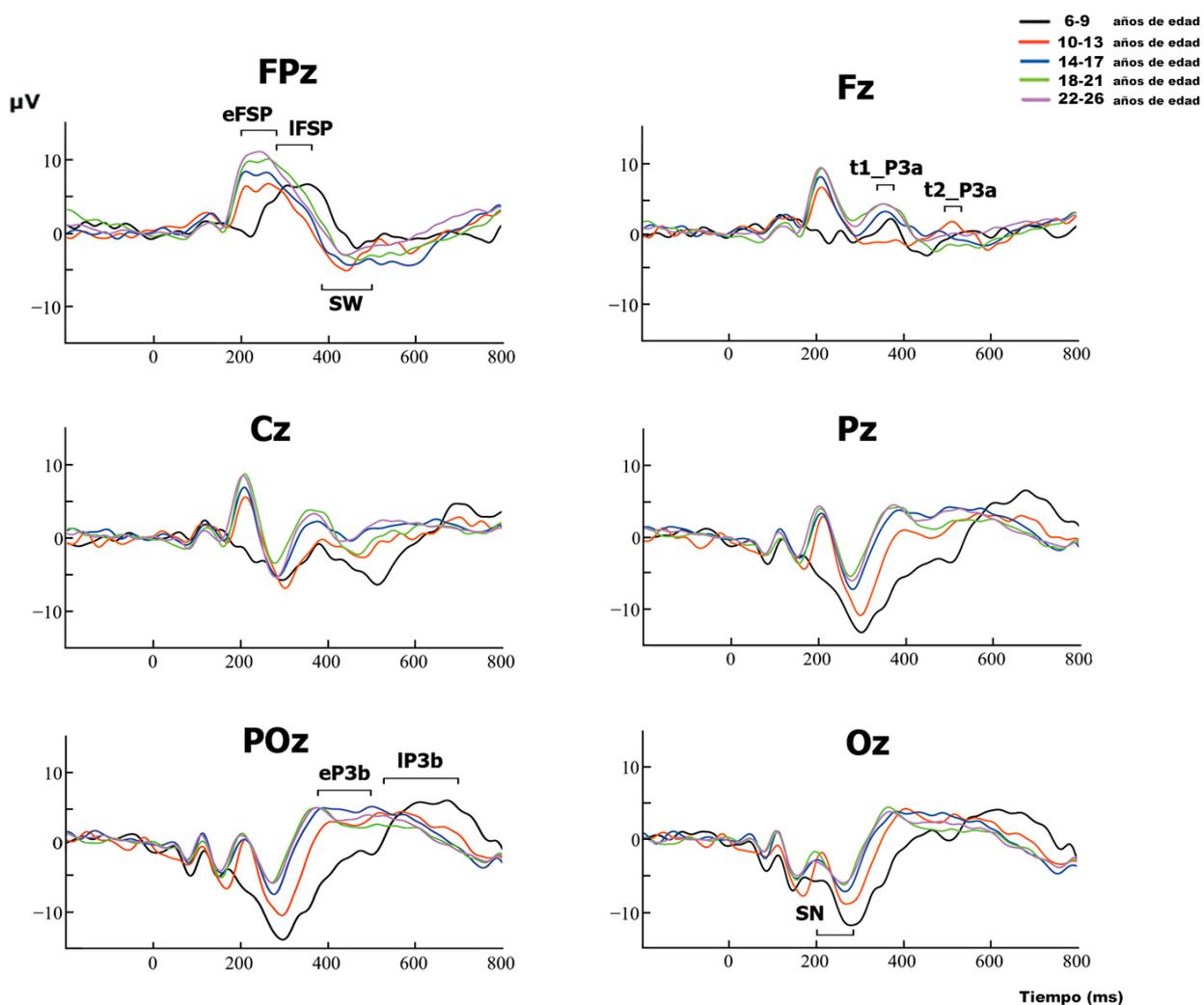
## 14.2. Potenciales Relacionados con Eventos (PREs)

La Figura 23 muestra los PREs de los electrodos de la línea media en las dos condiciones estudiadas: estímulo objetivo y estándar. Las amplitudes para el estímulo objetivo fueron mayores que para el estímulo estándar. Niños y preadolescentes presentaron una morfología diferente de PREs comparada con los adultos.

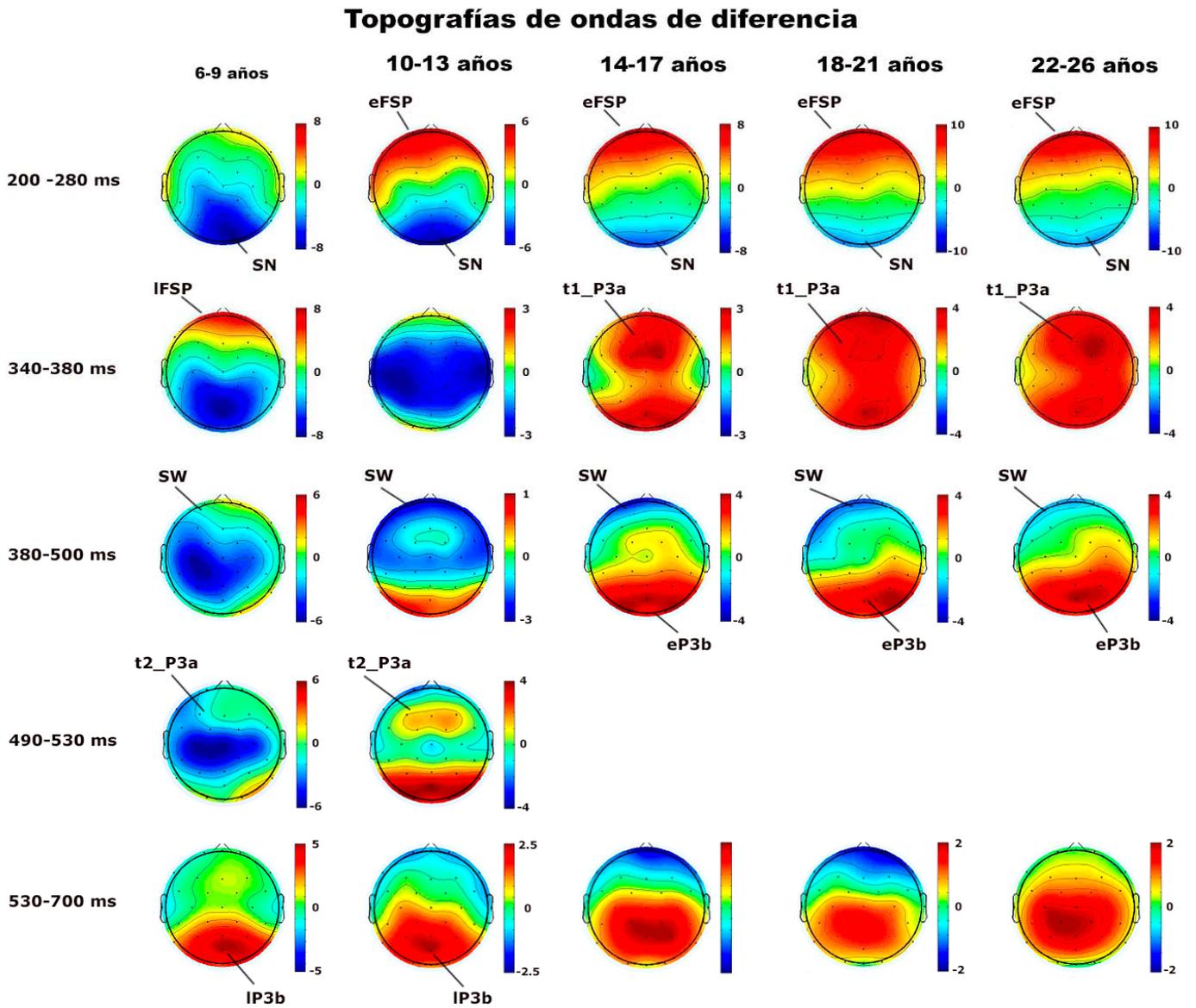
Las diferentes ondas obtenidas por la sustracción de los PREs del estímulo estándar respecto del estímulo objetivo se presentan en la Figura 23. La morfología de las diferentes ondas sugiere que las diferencias entre los grupos de edad se deben más bien a las diferentes latencias que a un genuino cambio en los potenciales presentes en los distintos grupos de edad, mostrando que componentes parecidos aparecen en todos los grupos de edad (excepto P3a en niños), aunque con latencias más tardías en los dos grupos de menor edad. La Figura 25 presenta las topografías de los diferentes componentes a partir de las ondas de diferencia de los diferentes grupos de edad. En la Figura 26 se muestran las medias de las amplitudes de los valores de PREs en las condiciones estímulo objetivo y estándar y las latencias correspondientes de los componentes SN, FSP, P3a, P3b y SW.



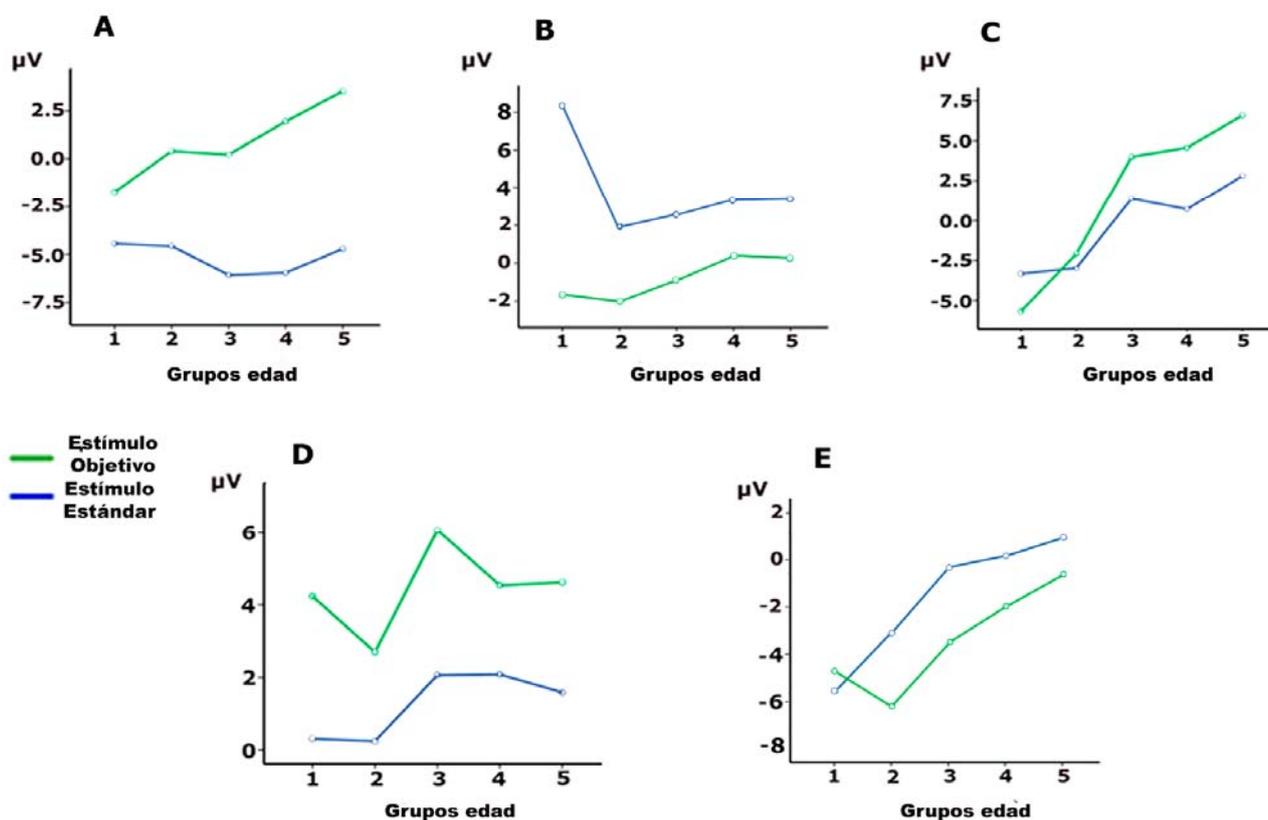
**Figura 23:** PEs para la línea media de electrodos en las dos condiciones de estudio: estímulo objetivo y estándar. Las amplitudes elicidas por el estímulo objetivo fueron más altas que las elicidas por el estímulo estándar en la mayoría de los grupos de edad y componentes. En suma, las diferentes morfologías elicidas por PEs en las dos condiciones se pueden observar fácilmente. Los componentes P2f (P2 frontal), P2p (P2 posterior), P3a y P3b están indicados con flechas.



**Figura 24:** Ondas de diferencia por sustracción de la condición estímulo estándar de los PREs de la condición estímulo objetivo de los PREs (estímulo objetivo menos estándar). Las diferencias entre los grupos de edad parece ser que se deben más a las diferentes latencias que a las diferentes morfologías. Las barras horizontales indican la ventana temporal usada para el análisis estadístico. En algunos componentes se trabajó con dos ventanas temporales diferentes, una ventana más temprana para los sujetos adultos y otra más tardía para los sujetos más jóvenes (ver detalles en la sección Método y Resultados). Positividad de selección temprana (Early Frontal Selection (eFSP)); positividad de selección tardía (Late Frontal Selection Positivity (IFSP)); Negatividad de selección (Selection Negativity (SN)); P3a de latencia temprana (Early Latency (t1\_P3a)); P3a de latencia tardía (Late Latency P3a(t2\_P3a)); P3b de latencia temprana (Early Latency (eP3b)); P3b de latencia tardía, (Late Latency (IP3b)); Onda lenta frontal (Slow Wave (SW)).



**Figura 25:** Topografía de los distintos componentes de las diferentes ondas en las diferentes latencias de los grupos de edad. Early Frontal Selection Positivity (eFSP), late Frontal Selection Positivity (IFSP), Selection Negativity (SN), early Latency P3a (t1\_P3a), late Latency P3a (t2\_P3a), early P3b (eP3b), Slow Wave (SW).



**Figura 26:** Valores de la media de amplitudes de PREs en condición estímulo objetivo y estándar de las latencias de los componentes P2f, P2p, P3a, P3b y SW (A, B, C, D y E respectivamente). FSP y SN deben ser interpretadas como las diferencias de ondas de la condición estímulo objetivo menos condición estándar (A y B). Las amplitudes representadas corresponden al promedio de la amplitud de voltaje en los electrodos seleccionados para cada componente. Estímulo objetivo (T), estándar (S).

### 14.3. Componente P2: Positividad de Selección Frontal (Frontal Selection Positivity)

El componente P2 se registró en la condición estímulo objetivo en los electrodos anteriores (P2a en Figura 23), pero no estuvo claramente definido en la condición estándar. La onda de diferencia se obtuvo para poder apreciar el componente FSP. La Figura 24, en el electrodo FPz, mostró la presencia de un FSP retrasado en los sujetos más pequeños comparados con los otros grupos de edad. La Figura 25 muestra la distribución fronto-polar del componente FSP, y se puede observar que durante la aparición de la latencia del P3a, en los adultos, emerge un FSP fronto-polar en la topografía de los niños. De hecho, en la ventana temporal para el P3a adulto, se puede apreciar un componente fronto-polar positivo en el grupo de los sujetos más jóvenes, reforzando la idea de que el componente FSP está retrasado en los niños respecto del grupo de los adultos. Por esta razón, el componente FSP se ha marcado como eFSP (Positividad de selección temprana (Early Frontal Selection Positivity (eFSP)): 200-280 ms) para los grupos desde preadolescentes hasta adultos y, como IFSP (Positividad de Selección Tardía (Late Frontal Selection Positivity (IFSP)): 280-360 ms) para el grupo de niños. De hecho, el pico de latencia del componente FSP mostró un incremento con la edad ( $p < .001$ ,  $R^2 = .074$ , Figura 27(A)). Por ello, se usaron diferentes

ventanas temporales, para poder comparar estadísticamente el componente P2 en niños con los otros grupos.

No se observó un efecto de grupo estadísticamente significativo (Figura 26(A)). El ANOVA mostró que los efectos de los electrodos ( $F [1.85, 278.16]=18.09, p<.001$ ) y la condición fueron estadísticamente significativas ( $F [4, 150]=175.35, p<.001$ ), esto último se debió a un incremento de la amplitud del componente P2 en la condición estímulo objetivo comparada con la condición estándar, correspondiendo con la presencia de un componente FSP. La interacción entre los efectos del grupo edad y la condición no fue estadísticamente significativa.

#### **14.4. Componente de Negatividad de Selección (Selection Negativity, SN)**

El componente SN apareció en los electrodos posteriores de la onda de diferencia (Figura 24), en la latencia del P2 posterior (P2p, Figura 23). La onda de diferencia en los electrodos POz y Oz, mostrada en la Figura 24, mostró una aparente mayor amplitud del componente SN en niños y preadolescentes comparado con el grupo de adultos. La Figura 25 muestra la topografía posterior del componente SN en todos los grupos de edad. No se apreciaron

cambios estadísticamente significativos en los picos de latencia para los distintos grupos de edad en el componente SN.

El ANOVA mostró un efecto estadísticamente significativo de amplitud en los grupos de edad ( $F [1, 150] = 3.61, p < .008$ ) (Figura 26(B)). El ANOVA mostró igualmente un efecto significativo de los electrodos ( $F [2.11, 317.74] = 324.67, p < .001$ ) y de la condición experimental ( $F [4, 150] = 74.1, p < .001$ ), esto último debido a un incremento de la amplitud de la negatividad en la condición estímulo objetivo, comparada con la condición estándar, generando el componente SN. La interacción entre el efecto grupo de edad y condición no fue estadísticamente significativo. El componente SN no fue seguido por un N2b fronto-central, pero se continuó con un P3a fronto-central, probablemente debido a las características novedosas del estímulo objetivo.

#### **14.5. Componente P3a**

La onda de diferencia en el componente P3a mostró una topografía fronto-central desde los adolescentes a los adultos (marcado como t1\_P3a en Figura 24). El término P3a de latencia temprana (early P3a) no ha sido usado con la finalidad de evitar confusión con el subcomponente "early P3a" descrito por Escera y cols., (1998). En el rango de la latencia del P3a en adultos, la topografía en niños es

similar al componente FSP en adultos (Figura 25), sugiriendo que FSP en niños está claramente retrasado en latencia. Los preadolescentes mostraron un P3a retrasado (marcado como t2\_P3a en Figura 24, para evitar confusión con el sub-componente tardío P3a). Además, en la latencia del P3b temprano, los preadolescentes mostraron una positividad frontal que puede ser interpretada como un componente P3a retrasado en el tiempo con respecto a los grupos de mayor edad (Figura 25). La ventana temporal del componente P3a en adultos no mostró en la topografía de los niños nada similar. Por ello, como se indicó en la sección de métodos, se usaron diferentes latencias en niños y preadolescentes en la comparación estadística de las amplitudes del P3a entre adolescentes y adultos (t1\_P3a: 340 - 380 ms; t2\_P3a: 490 - 530 ms).

No hubo un cambio estadísticamente significativo en el pico de latencia con respecto a la edad para el componente P3a, posiblemente debido a que la ausencia de un genuino P3a en niños y preadolescentes no permitió medir este pico de latencia y el algoritmo situó el máximo en actividad espontánea del EEG.

El ANOVA mostró un efecto de grupo ( $F [4, 150] = 23.0, p < .001$ ) (Figura 26(C)). Asimismo, mostró los efectos de los electrodos ( $F [2.62, 394.29] = 33.5, p < .001$ ) y la condición fue estadísticamente significativa ( $F [4, 150] = 13.686, p < .001$ ), esto último debido a un incremento de la amplitud del componente P3a en la condición

estímulo objetivo en comparación con la condición estándar (Figura 26(C)). La interacción entre el efecto de la edad y las condiciones fueron estadísticamente significativas ( $F [1, 4] = 4.22, p < .003$ ). Se aplicó la corrección de Bonferroni para las comparaciones de medias entre el estímulo objetivo y el estándar y mostró una significación estadística para los grupos de jóvenes adultos ( $p < .005$ ) y adultos ( $p < .005$ ). Si la corrección de Bonferroni no se hubiera aplicado, el grupo de adolescentes también hubiera sido significativo ( $p < .019$ ).

#### **14.6. Componente P3b**

El componente P3b apareció en los electrodos posteriores (Figura 23). Los niños y preadolescentes presentaron un componente P3b retrasado en el tiempo respecto a los sujetos de mayor edad. La onda de diferencia en los electrodos POz y Pz, mostradas en Figura 24, mostró un incremento en la amplitud del componente P3b en la condición estímulo objetivo respecto a la condición estándar y un retraso en la modulación del componente P3b en los grupos de niños y preadolescentes. La Figura 25 mostró una topografía posterior del componente P3b que para los niños y preadolescentes presentó un retraso en su latencia. De hecho, el pico de latencia del P3b mostró un incremento con la edad ( $p < .001, R^2 = .129$ , Figura 27(B)). Por consiguiente, como se indicó en la sección de Método, se usaron

diferentes latencias en niños y preadolescentes respecto a adolescentes y adultos para los análisis estadísticos del componente P3b (eP3b: 380 ms - 500 ms, IP3b: 530 - 700 ms). El ANOVA mostró que los efectos de electrodos ( $F [1.99, 299.11] = 24.72, p < .001$ ) y la condición fueron estadísticamente significativas ( $F [1, 150] = 114.038, p < .001$ )), esto último debido a un incremento de la amplitud del componente P3b en la condición estímulo objetivo respecto a la condición estímulo estándar. Sin embargo, la interacción entre los efectos del grupo de edad y la condición no fueron estadísticamente significativas, indicando una similar modulación elicitada por la condición estímulo objetivo respecto a la edad (Figura 26(D)).

No obstante, se pudo demostrar que había un incremento en la amplitud de la modulación del componente P3b con la edad si la amplitud pico a pico se tenía en cuenta. Para este propósito, el valor de amplitud del componente SN (medido desde la onda de diferencia) en el electrodo Pz (ver Figura 24), se sustrajo de la modulación del componente P3b en el mismo electrodo (también calculado desde la diferencia de onda). El ANOVA inter-grupo de las diferencias mostró el efecto del grupo de edad ( $F [4, 150] = 12.58, p < .001$ ) (Figura 28), debido a la gran amplitud pico a pico que presentó el componente P3b en niños, en comparación con los otros grupos de edad. Se aplicó la corrección tipo Bonferroni a las comparaciones de medias entre los grupos y mostró que la amplitud pico a pico del

componente P3b de los niños fue significativamente diferente de los otros grupos de edad ( $p < .009$ ). Las otras comparaciones no fueron estadísticamente significativas.

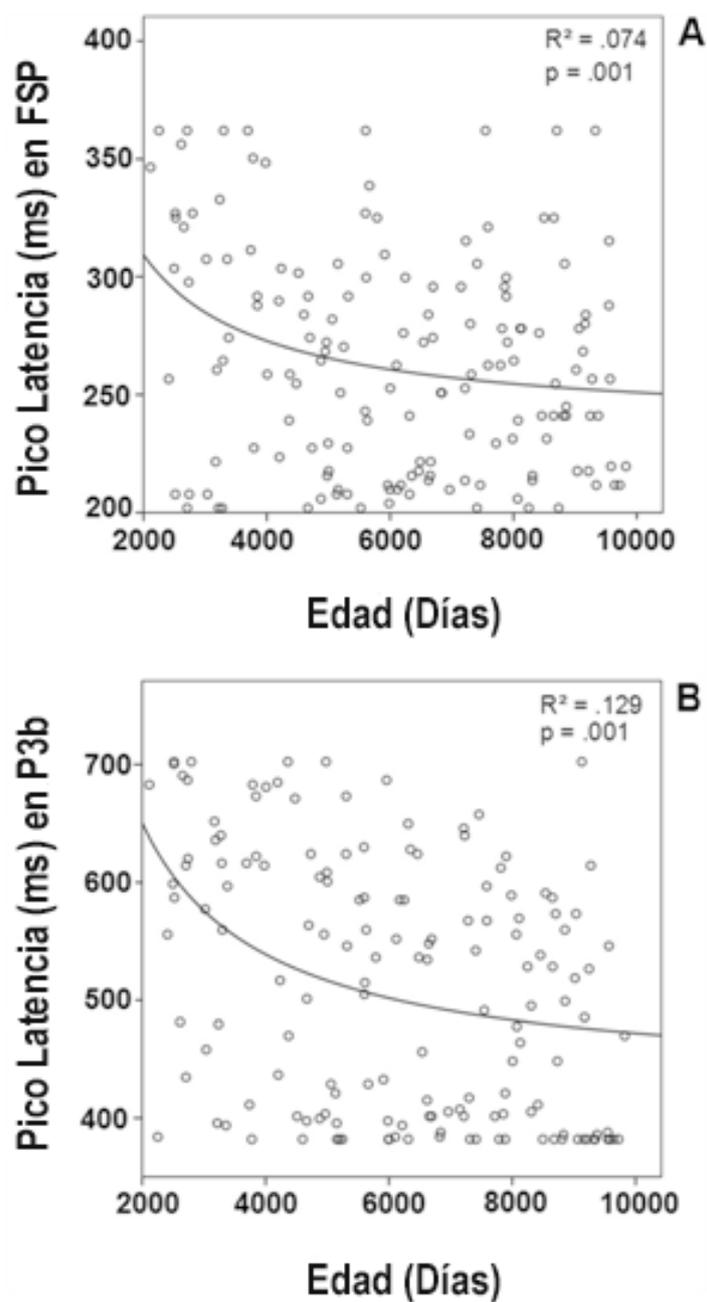
#### **14.7. Componente SW**

El componente SW apareció en los electrodos anteriores, presentando una aparente mayor amplitud en la condición estímulo objetivo respecto a la condición estímulo estándar (Figura 23). La onda de diferencia en el electrodo FPz, Figura 24, mostró un incremento en la amplitud negativa en la condición estímulo objetivo respecto a la condición estímulo estándar. No hubo cambio de latencia con la edad en el componente SW. La Figura 25 muestra la topografía anterior del componente SW.

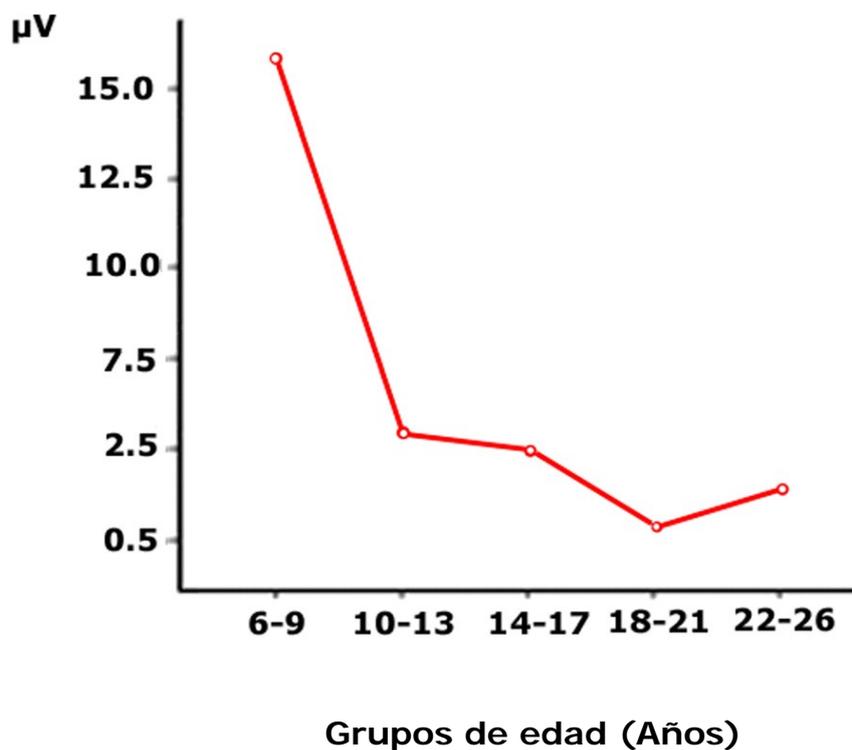
El ANOVA mostró un efecto de la edad ( $F [4, 150] = 11.01, p < .001$ ) (Figura 26(E)). El efecto del factor electrodo no fue significativo. El ANOVA mostró que el efecto de la condición sí fue estadísticamente significativo ( $F [1, 150] = 12.1, p < .001$ ) debido al incremento negativo de la amplitud de SW en la condición estímulo objetivo comparada con la condición estándar. Sin embargo, la interacción entre los efectos del grupo edad y la condición no fue estadísticamente significativa (Figura 26 (E)).

### 14.8. Correlación entre medidas conductuales y PREs

Las diferentes medidas conductuales (presentadas en la Figura 22) se correlacionaron mediante el coeficiente de correlación de Spearman con la amplitud de voltaje y la latencia en electrodos representativos de los PREs analizados: SN en el electrodo Oz, FSP en FPz; P3a en Fz; P3b en Pz y SW en FPz. Debido a que cada latencia se correlacionó con las nueve variables, se aplicó la corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples. La media de los TRs fue estadísticamente significativa cuando se correlacionó con la amplitud del componente P3b ( $Rho = 0.252, p < .018$ ). Igualmente, la media de los TRs fue estadísticamente significativa cuando se correlacionó con la latencia del componente FSP ( $Rho = .219, p < .05$ ). Los TRs vs. latencia del componente P3 ( $Rho = .353, p < .009$ ) y SD vs. latencia del componente P3b ( $Rho = .225, p < .048$ ) fueron estadísticamente significativas. Todas estas correlaciones fueron positivas. Las restantes correlaciones no fueron estadísticamente significativas.



**Figura 27:** Regresión inversa entre el pico de latencia de PREs en los componentes FSP (A) y P3b (B) con respecto de la edad expresadas en días.



**Figura 28:** Media del voltaje de la amplitud pico a pico del incremento de la modulación del P3b inducido por la condición estímulo objetivo. Nótese el alto valor de amplitud del P3b en el grupo de los niños (6-9 años) comparado al de otros grupos de edad.

## 15. DISCUSIÓN

El presente estudio investiga el desarrollo de los PREs relacionados con el paradigma de selección de estímulo objetivo cuando éste es novedoso. Los resultados indican que componentes similares a los que se modulan durante la selección de características atendidas en niños (Van der Stelt y cols., 1998 y Jonkman y cols., 2004) se modularon durante la selección de estímulos visuales considerados como estímulos objetivos debido a su naturaleza novedosa. El presente trabajo se centra en un proceso muy ecológico como corresponde a la selección visual de objetos basado en la novedad que éstos representan para el sujeto.

La hipótesis central propuesta fue que: los componentes generados por PREs en las áreas posteriores, los componentes SN y P3b, podrían madurar más tempranamente que los componentes FSP, P3a y SW, los cuales tienen sus fuentes en las áreas frontales. Esta hipótesis fue confirmada por medio de la amplitud en el componente P3a y por la latencia en el componente FSP. Por el contrario, el componente posterior SN ya estaba maduro en los niños. Además, el componente P3b mostró un retraso madurativo en ambos parámetros: latencia y amplitud. Estos resultados sugieren que en la maduración de los PREs no sólo hay un gradiente anterior-posterior de maduración, indexado por FSP y P3a, sino que también aparece

un desarrollo madurativo lento en las áreas de asociación posteriores, como indica el retraso madurativo del componente P3b.

Las medidas conductuales mostraron la esperada mejoría con la edad, en términos de reducción en la media de los TRs, variabilidad TRs, falsas alarmas, omisiones, anticipaciones y el parámetro de sensibilidad  $d'$ . En el rango de edad considerado, que va de los 6 a los 26 años de edad, había relaciones inversas estadísticamente significativas con la edad, indicando un decrecimiento en todos los parámetros conductuales. Con respecto al parámetro de sesgo de respuesta (parámetro C), hubo una relación inversa con la edad, indicando que el sesgo de respuesta evolucionaba de una actitud conservadora (valores positivos) a un sesgo de respuestas neutral (valores cero).

La reducción de TRs con la edad se ha descrito en el paradigma Oddball (Courchesne, 1978 y Thomas, 1996-98). Los citados autores también informan que el tipo más común de error en los niños fueron las omisiones (Thomas, 1996-98). Durante la infancia, como en muchas otras funciones cognitivas, la atención siguió una cierta trayectoria de desarrollo en la que los TRs y errores decrecen con la edad (Thomas, 1996-98). Esta relación inversa entre edad y TRs ha sido extensamente obtenida en diferentes tipos de experimentos basados en TRs (Luna, y cols., 2004), y está probablemente relacionado con un factor de maduración psicofisiológica. Esta reducción en la media de los TRs estuvo acompañada por una

reducción de la variabilidad con la edad en los TRs, tal como se ha obtenido en otros estudios (Benjamin y cols., 2005 y Papenberg y cols., 2013). En el presente estudio, el tipo más frecuente de errores fueron las omisiones, seguido de falsas alarmas, con un número muy bajo de anticipaciones. La consideración de las omisiones como el error más frecuente en niños está fundamentada en otros estudios usando diferentes tipos de paradigmas (<biblio>). La trayectoria de desarrollo mostró un decremento en las omisiones que podemos relacionar con la transición desde un sesgo de respuestas conservador a neutral (parámetro C), y ello sugiere que los niños presentan una estrategia de respuesta cautelosa, como sugiere la tarea Visual Search presentada en el Experimento I (Rojas-Benjumea y cols., 2013), aunque no se debería descartar que una alta distracción en niños los haría más propensos a la no respuesta. Sin embargo, Oades y cols., (1997), usando una tarea Oddball auditiva, no encontró diferencias estadísticamente significativas entre niños y adultos en el parámetro beta de sesgo de respuestas. El sesgo de respuestas conservador obtenido en niños en el presente estudio se debe probablemente a la complejidad de los estímulos objetivo, lo cual fomentó estrategias de precaución en la emisión de respuestas. El parámetro  $d'$  indicó un incremento en la habilidad de discriminación de estímulos objetivos con la edad, un resultado también obtenido por Oades y cols., (1997), que se corresponde con una tendencia de maduración que está bien establecida en el niño (Liu y cols., 2013).

Todos los grupos de edad presentaron un componente fronto-polar de polaridad positiva, etiquetado como FSP en las ondas de diferencia (PREs en condición estímulo objetivo menos PREs en condición estándar). La correlación del pico de latencia con la edad confirmó el retraso madurativo del componente FSP en niños. Van der Stelt y cols., (1998), obtuvieron un componente FSP calculando la onda de diferencia obtenida por sustracción de los PREs en la condición estándar, en la cual la búsqueda de un color no era lo relevante de la condición objetivo, en la cual la búsqueda visual se basaba en el color. La FSP se obtuvo sustrayendo los PRES de la condición color no relevante, de la condición color relevante. Este componente FSP, extraído de las ondas de diferencia en el rango del componente P2, se interpretó como una relación entre la atención y el efecto de la selección del color relevante. En el presente experimento, se obtuvieron topografías y latencias similares del componente FSP, sugiriendo que el FSP obtenido en el presente estudio y el obtenido por Van der Stelt (1998) representan componentes homólogos. Por ello, cabe sugerir que el componente FSP obtenido en el presente estudio está relacionado con el esfuerzo atencional realizado para discriminar estímulos objetivo de estímulos estándar. La amplitud del componente FSP no decrece con la edad (Van der Selt y cols., 1998), un resultado que se confirma en el presente estudio. El componente FSP, simultáneamente al componente SN, está relacionado con la selección de características

relevantes, las cuales, independientemente del paradigma experimental, pueden conducir al reconocimiento del estímulo objetivo (Anllo-Vento y cols., 1998). El componente P2 frontal está también relacionado con el procesamiento del estímulo objetivo. Este componente se ha relacionado con el procesamiento de estímulos relevantes asociados a la selección de respuestas (Makeig y cols., 1993). Sin embargo, Potts (2004), propuso que el componente P2 está relacionado con la evaluación de estímulos, más que con la selección de respuestas motoras. Se ha demostrado un incremento en la amplitud del componente P2 con la edad en la modalidad auditiva (Oades y cols., 1997), pero su latencia disminuyó. Por otro lado, no hubo diferencias en la amplitud del componente FSP en la modalidad visual con el aumento de la edad (Van der Stelt y cols., 1998). Los resultados de disminución de latencia y mantenimiento de amplitud de FSP en modalidad visual (Van der Stelt y cols., 1998) se han confirmado en el presente experimento. La presencia de un componente FSP estadísticamente significativo en niños en el presente estudio sugiere que, en niños, este componente, el cual tiene su origen en la zona frontal, (Anllo-Vento y cols., 1998; Jonkman y cols., 2004) es importante para el procesamiento de los estímulos novedosos y/o asociados a la selección de respuestas en niños.

EL componente SN se registró en zonas posteriores en todos los grupos de edad, simultáneamente al componente frontal FSP. El

componente SN está relacionado con la selección de ciertas características no espaciales tales como color, forma, orientación, etc (Anllo-Vento y cols., 1998). Sin embargo en este experimento, la negación de las características del estímulo estándar fue el criterio de categorización de un estímulo como estímulo objetivo. La presencia de un componente SN en todos los grupos de edad sugirió que un mecanismo similar de selección de características atendidas, el componente SN, ocurría cuando la negación de ciertas características estaba en los criterios de selección del estímulo objetivo. Por tanto, es posible sugerir que un mecanismo relativamente similar al componente SN está presente en los niños como mecanismo de selección. Este resultado se apoya en estudios previos mostrando la presencia del componente SN en los niños (Van der Stelt y cols., 1998; Jonkman, 2004). Estos autores, en un paradigma de selección de color y forma, encontraron un componente SN de negatividad distribuida por la región occipito-temporal en un rango de latencia de 150-300 ms. Sin embargo, el componente SN fue más claramente visible en los grupos de edad comprendidos entre 16-18 y 19-24 años respectivamente, y menos visible en la mayoría de los sujetos más jóvenes en los estudios de Van der Stelt (1998), en contraste con los resultados del presente estudio, así como en los de Jonkman y cols., (2004), el cual encontró un componente SN en niños. La fuente neural del componente SN está localizada en el córtex temporal, correspondiendo a su rol de selección de características

visuales (Anllo-Vento y cols., 1998; Van der Stelt y cols., 2001; Jonkman y cols., 2004). El origen posterior del componente SN justifica la presencia del mismo en niños y pre-adolescentes desde un punto de vista madurativo.

Siguiendo a los componentes FSP y SN, se registró el componente P3a en la zona fronto-central. Este componente fue sólo estadísticamente significativo en los grupos de sujetos adolescentes, jóvenes adultos y adultos. El presente resultado amplía estudios previos indicando que el componente visual P3a podría mostrar una maduración lenta (Courchesne y cols., 1978 y Flores y cols., 2009), y que podría estar claramente establecido sólo en jóvenes adultos. Es difícil comparar los diferentes estudios debido a las diferencias en edad y tamaño de las muestras, tipos de estímulos y paradigmas. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio y el de otros autores como Courchesne (1978) y Flores y cols., (2009) tienden a sugerir una maduración prolongada del componente visual P3a, probablemente debido a la lenta maduración de la red fronto cortical. En el estudio de Courchesne (1978), apareció un componente negativo frontal en la localización del componente P3a en la modalidad visual en niños, pero Stige y cols., (2007) encontraron que el P3a maduraba más tempranamente que el P3b, mostrando que la latencia del P3a crecía con la edad, y la amplitud decrecía con la misma a lo largo de toda la vida. Sin embargo, aparecieron pequeños

cambios cuando se compararon niños y jóvenes adultos, y no obtuvieron un componente Nc.

Los escasos y diversos resultados en el componente P3a visual, muestran la necesidad de realizar investigaciones futuras en este tema. La situación se hace más complicada si consideramos los resultados del P3a en la modalidad auditiva. Los resultados del P3a auditivo (Oades y cols., 1997; Gumenyuk y cols., 2004; Määttä y cols., 2005; Wetzel y cols., 2007) indican la presencia de un P3a auditivo en niños y sujetos de poca edad (Putkinen y cols., 2012). Estas diferencias entre las modalidades visual y auditiva podrían ser atribuidas a la posibilidad de que algunos generadores de P3a en la modalidad auditiva que están situados fuera del córtex frontal, en el suelo de la cisura de Silvio o lateral, contribuirían a una positividad frontal durante la latencia del P3a, mientras que esta disposición anatómica no ocurre en la modalidad visual. La contribución más importante a la generación del P3a en el córtex frontal se ha obtenido por medio de la neuropsicología (Knight y cols., 1998; Lovstad y cols., 2012) y por estudios de dipolos utilizando la señal de fMRI como semilla para su localización (Imagen por Resonancia Magnética Funcional) (Bledowski y cols., 2004). Por tanto, la ausencia clara de un P3a en los niños y adolescentes, en este estudio, puede ser atribuida a la lenta maduración del córtex frontal. Por otro lado, el que chicos jóvenes y niños (Putkinen y cols., 2012) presentaran un P3a en las tareas auditivas, podría ser debido a que el córtex auditivo

es el origen del P3a auditivo en niños proyectando una positividad sobre el cortex frontal (Wetzel y cols., 2007; Wetzel y cols., 2014).

Nuestros resultados confirman la presencia de un componente P3b visual en niños, medido como diferencia entre PREs en la condición estímulo objetivo y condición estándar. La presencia del componente P3b con un estímulo novedoso se ha descrito previamente por varios autores tales como Courchesne (1978). La tendencia de maduración general se ha reportado como un decrecimiento en amplitud y latencia con la edad (Thomas y cols., 1996; Stige y cols., 2007). Flores y cols., (2010), usando el paradigma de señal central de Posner, encontraron que el P3b decrece con la edad. Los resultados del presente estudio confirman esta reducción del componente P3b respecto de la amplitud con la edad, cuando se calculó la amplitud pico a pico del P3b, producido por la modulación inducida por un estímulo objetivo. Además, la reducción de la latencia con la edad se confirmó por medio de la correlación inversa con la edad. Las fuentes del componente P3b están distribuidas pero tienen predominancia en las áreas temporal y parietal. Los principales contribuyentes en la generación del P3b estarían localizados en el lóbulo temporal medial, bilateralmente en el córtex parietal medial, córtex parietal inferior y córtex temporal inferior (Yamazaki y cols., 2000; Bledowski y cols., 2004; Polich y cols., 2007). Las fuentes parietales también se han confirmado por un modelo de distribución de fuentes en cerebros individuales

(Moore y cols., 2003). La maduración temprana de las áreas posteriores comparada con las áreas frontales no explicaría las diferencias entre la amplitud y latencia del P3b en niños y jóvenes adultos durante la condición de presencia del estímulo objetivo, tal como se ha obtenido en el Experimento II de la tesis. Pero, como indicó Giedd y cols., (2009), el gradiente de maduración no ocurre exclusivamente en la dirección anterior-posterior, también presenta gradientes de maduración dentro de los lóbulos, desde áreas de asociación más básicas a áreas de asociación de alto orden, incluyendo el córtex parietal inferior, uno de los generadores neurales del P3b.

El componente frontal SW presentó un incremento significativo en la condición estímulo objetivo respecto a la condición estándar. Este componente aparece en las áreas frontales en una latencia similar al componente P3b, y algunos autores (Van Leeuwen y cols., 1998; Flores y cols., 2009) han argumentado que en niños se corresponde con el lado negativo de los dipolos positivos posteriores. No obstante, en la modalidad auditiva, la fuente independiente del componente SW ha sido demostrada por una disociación de los efectos de la lesión del córtex prefrontal dorsolateral en los componentes P3b y SW (Lovstad y cols., 2012). La localización de los dipolos que explican el componente SW indicaron una localización frontal para este componente (Van der Stelt y cols., 2001). El SW ha sido relacionado con la alerta y orientación (Rohrbaugh y cols.,

1979). Este componente es más claro en tareas WM (Memoria de trabajo) como respuestas a un estímulo S1 (Van Leeuwen y cols., 1998; Flores y cols., 2009; Barriga-Paulino y cols., 2014), aunque aparece también en aquellas tareas que implican respuestas novedosas y de detección de estímulos objetivo (Lovstad y cols., 2012).

La falta de maduración del PREs frontales en niños en procesos de selección de estímulos objetivos novedosos fue demostrada por la ausencia de un P3a en niños y preadolescentes, y por la dependencia del pico de latencia con respecto a la edad, en el componente FSP. La poda sináptica y la mielinización del córtex frontal continúan durante el período de la adolescencia (Yakovlev y cols., 1967; Giedd y cols., 2009) y podrían ser la base neuroanatómica del retraso en la maduración de estos potenciales. Los resultados de este estudio confirman el gradiente antero-posterior de maduración del cerebro obtenido con técnica MRI (Giedd y cols., 2009). No obstante, el componente posterior P3b también mostró una maduración de la amplitud y latencia con la edad, y sugiere que también ocurre un gradiente de maduración desde niveles inferiores a superiores en las áreas de asociación cortical posteriores (Giedd y cols., 2009).

Como los niños del presente experimento fueron altamente competentes en la selección de estímulos objetivo, aunque ciertamente hubo una mejoría con la edad, los resultados apoyan la conclusión de Courchesne (1978), usando un paradigma experimental

similar: "It is suggested that these differences in ERP waveforms reflect differences in the way children and adults categorize events."

Los procesos involucrados en la selección del estímulo objetivo podrían ser representados más tardíamente en las áreas frontales durante el desarrollo evolutivo, completando su proceso durante la adolescencia. La reorganización de las localizaciones cerebrales para la implementación de las funciones cognitivas durante el desarrollo han sido reconocidas en los paradigmas de memoria de trabajo a través de lesiones en monos (Goldman-Rakic, 1971) y localización de dipolos en humanos (Barriga-Paulino y cols., 2014), y podría ser otro elemento básico en los procesos de desarrollo.

## **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES**

## 16. DISCUSIÓN GENERAL

Aunque la atención no siempre ha interesado a las distintas corrientes psicológicas que se han sucedido en la historia, no cabe duda que ha permanecido latente, de alguna manera, en el ámbito de la Psicología. Con la teoría de Posner basada en las redes atencionales, la atención adquiere una importancia capital en el campo de las neurociencias y, en el ámbito escolar se considera primordial, junto con otros factores, para alcanzar unos resultados académicos satisfactorios. Muchos son los problemas diarios que se presentan en las aulas y los profesores consideran que derivan precisamente de un problema atencional. Los padres hablan continuamente de la atención o falta de ésta en sus hijos y también la consideran clave para su avance positivo en el mundo académico y en el de sus vidas diarias. La atención, por tanto, se convierte en centro de atención para profesores, padres y otros profesionales.

El objetivo de este estudio se centra en el desarrollo de la atención a lo largo de la vida del individuo y así, con conocimientos básicos, poder abordar a posteriori problemas aplicados.

Se consideraron como alternativas factibles los dos experimentos de este estudio:

1. Considerar los paradigmas de búsqueda visual con el objetivo de estudiar la atención selectiva y las estrategias de búsqueda atencional de los sujetos.
2. Cotejar los resultados obtenidos en el punto anterior con los conseguidos en la aplicación de PREs relacionados con el paradigma de la selección de estímulos objetivos cuando se trata de elegir uno que resulta novedoso.

En cuanto a los paradigmas de búsqueda visual hay ciertas controversias. Algunos autores consideran que las características de búsqueda se encuentran en los sujetos desde temprana edad (Gerhardstein y Rovee-Collier, 2002). Otros, por el contrario han observado que evoluciona con la edad de los sujetos (Hommel y cols., 2004). En este estudio se aprecia que la capacidad de búsqueda visual, en sus dos modalidades en serie y en paralelo, está presente en el grupo de menos edad del presente estudio, (6-8 años de edad) pero que sin duda la eficacia de los sujetos mejora con la edad, observándose que los TRs y errores muestran una relación inversa con ella. Existe un punto de inflexión clave entre los 10 y 13 años de edad, que también encontraron otros autores como Rebok y cols., (1997) y Klenberg y cols., (2001). Sin embargo el patrón similar de comportamiento en Visual Search y Pop-Out de los tres grupos de edad sugiere que no hay cambios esenciales en la forma de

procesar los estímulos en los distintos grupos de edad, y sin embargo existe una mejora debida a la maduración visuo-motora.

Las trayectorias de desarrollo de los TRs invertidos por los sujetos en la búsqueda de objetivos mostraron, en todos los estudios presentados en esta tesis, una relación inversa con la edad, probablemente causada por la falta de maduración perceptual y motórica a tempranas edades. Estos mismos resultados son obtenidos por Luna y cols., (2004). La misma relación inversa se obtuvo en los paradigmas de búsqueda visual.

Las medidas conductuales en la búsqueda de estímulos objetivo novedosos mostró en este trabajo una reducción en la media de los TRs invertidos por los sujetos con respecto a la edad (Courchese, 1978 y Thomas, 1996-98), así como en la variabilidad de los mismos, falsas alarmas y errores de omisión, anticipaciones y  $d'$  (parámetro de sensibilidad). Thomas (1966-98), reporta que los errores más comunes en los niños fueron las omisiones. Estos resultados se encontraron en otros paradigmas distintos a la búsqueda de estímulos objetivo novedosos (Van der Stelt y cols., 1998; Barriga-Paulino y cols., 2014; Thomas y cols., 1996-98; Day, 1978; Baranov-Krylov y cols., 2009; Rojas-Benjumea y cols., 2013). Estos datos concuerdan con los obtenidos en los paradigmas de búsqueda visual aplicados en el Experimento I de este trabajo (Pop-out y Visual Search) (Rojas-Benjumea y cols., 2013). El parámetro  $d'$  mostró un

incremento en la capacidad discriminativa de estímulos objetivo con la edad, también obtenido por Oades y cols., (1997), correspondiéndose con una maduración en el niño, que evoluciona con la edad (Liu y cols., 2013).

Si atendemos ahora al análisis de los errores, con el fin de aportar rigurosidad al estudio, mostraron que estos eran muy bajos (especialmente en el paradigma de Pop-Out y Visual Search para 2 ítems) y además disminuían con la edad de los sujetos. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Day, (1978) y Baranov-Krylov y cols., (2009), y sugieren, dada la preponderancia de los errores de omisión (Experimentos I y II) y el valor positivo del parámetro C en el Experimento II, que los grupos de menor edad estudiados en el presente trabajo habían desarrollado una estrategia de precaución para emitir respuestas y que los grupos de menor edad prefieren no emitir respuesta alguna en caso de no encontrar la correcta. Autores como Trick y Enns (1998); Lobaugh y cols., (1998), en la aplicación del paradigma Visual Search, consideran que los errores en los niños pueden ser atribuidos a la inmadurez de las vías occipito-temporales. Esta idea puede ser apoyada por el incremento del parámetro de discriminabilidad  $d'$  con la edad. Por otra parte, el grupo de los sujetos de menor edad presentó una gran variabilidad en el número de errores con respecto a los otros grupos, esto fue muy marcado en los errores de omisión y en tareas complejas como en el paradigma Visual Search para la presentación de cuatro y seis

ítems. Estos resultados se deben probablemente a la existencia de un amplio período de maduración de los sujetos tanto a nivel psicológico como neuroanatómico, que afecta de manera directa a la toma de decisiones en tareas de cierta complejidad y que se va desarrollando y mejorando con la edad, pero existiría una ventana temporal relativamente amplia para alcanzar la maduración de este proceso de decisión. Cuando cotejamos estos resultados anteriormente expuestos con los obtenidos en la búsqueda de un estímulo objetivo novedoso en este trabajo (Experimento II), nos encontramos que los errores más frecuentes también fueron los de omisión. Aunque parece que el mismo fenómeno de incremento de variabilidad en el número de errores en los pequeños con respecto a los mayores ocurre en la tarea Oddball, el marcado efecto suelo de los errores en la tarea Oddball impide realizar inferencias fuertes con respecto a la existencia de una ventana temporal amplia de maduración en la precisión dentro de la tarea Oddball.

Los resultados en las tareas de tipo Stop han demostrado que los preadolescentes tienen menos capacidad inhibitoria ante el estímulo Stop. Sin embargo, en este tipo de tareas ha quedado de manifiesto que los sujetos de menor edad muestran estrategias de respuestas cautelosas, lo contrario a las estrategias que muestran los preadolescentes con pocas omisiones ante los estímulos Go y paradas ante los Stop, lo que revela una baja conducta inhibitoria en comparación con el resto de los grupos de edad. Así pues, los tres

tipos de tareas presentadas en la presente tesis, a dos muestras de sujetos distintas, sugieren que los niños pequeños ante situaciones de respuesta rápida tienden más a no responder que a responder de forma incorrecta, lo que supone una estrategia de tipo conservador.

En el desarrollo de los PREs en la selección de estímulos objetivo novedosos, se encuentran componentes similares a los que se modulan durante la selección de características atendidas (Van der Stelt y cols., 1998 y Jonkman y cols., 2004). Los PREs muestran que uno de los componentes generados en las áreas posteriores (SN) se desarrolla antes en el tiempo que algunos de los componentes generados en las áreas frontales (FSP, P3a). Sin embargo, el componente P3b, cuyas fuentes se sitúan fundamentalmente en áreas posteriores, presenta una maduración más tardía dado el considerable incremento en la amplitud pico-a-pico de dicho componente en los niños con respecto a los otros grupos. Esto implica que, por un lado, existe un gradiente de maduración que va desde las zonas posteriores a las anteriores en el cerebro del individuo, y por otro, que en los lóbulos posteriores también existe un gradiente madurativo dentro de estas áreas posteriores.

Si observamos las topografías, muestran una lenta maduración del componente P3a (Figura 25). En los sujetos de menor edad no aparece dicho componente. Podemos deducir que esta ausencia del componente P3a es debido a una escasa maduración del córtex

frontal en los sujetos más jóvenes (Courchesne y cols., 1978 y Flores y cols., 2009).

Concluimos que las áreas frontales presentan una maduración más tardía que las áreas posteriores, aunque también existiría ese gradiente interno dentro de las áreas posteriores, y explicaría las diferencias encontradas en los paradigmas de búsqueda visual cuando se presenta un número mayor de ítems o bien un tipo de búsquedas más complicadas que otras (por ejemplo la condición Pop-Out respecto de la condición Visual Search). No hay que olvidar que la poda sináptica y la mielinización del córtex frontal continúa madurando durante el período de la adolescencia (Gied y cols., 2009; Yakovlev y cols., 1967).

Un aspecto importante es el relativo al Experimento I. Dicho experimento sugirió que niños y jóvenes utilizaban la misma estrategia desde el punto de vista atencional, búsqueda serial y paralela en las tareas Pop-out y Visual Search, respectivamente. Sin embargo, en el Experimento II, analizando el funcionamiento cerebral por medio de PREs, se muestra que los mecanismos cerebrales ligados al procesamiento atencional no son completamente similares, siendo el caso de los componentes P3a y P3b los más llamativos. Ello sugiere que aunque niños y jóvenes utilicen estrategias similares de procesamiento en estas tareas atencionales relativamente simples, probablemente no se utilizan los mismos recursos cerebrales, o al

menos con la misma intensidad, para realizarlos. Esta utilización diferencial de áreas cerebrales para resolver tareas se ha observado en paradigmas de memoria de trabajo a través de lesiones frontales en monos (Goldman-Rakic, 1971) y por medio de estudios de localización de dipolos en humanos (Barriga-Paulino y cols., 2014). La reorganización anatómo-funcional de procesos cognitivos podría ser otro elemento básico en los procesos de desarrollo, junto con la mielinización, la proliferación y la poda sináptica.

## 17. CONCLUSIONES

1. Los mecanismos de búsqueda serial y en paralelo están desarrollados en los grupos de edad de la presente tesis.
2. La falta de interacción triple entre condición, número de ítems y grupos de edad en las tareas de Visual Search y Pop-Out, tanto en TRs como en errores, sugiere que los distintos grupos de edad utilizan estrategias similares de procesamiento. Aunque mejoran en eficacia con la edad.
3. En las tareas de mayor dificultad, los niños de menor edad prefieren adoptar una estrategia conservadora de respuestas en vez de responder de manera precipitada e impulsiva, como muchas veces se piensa. Sin embargo, durante la preadolescencia aparece un rebrote de impulsividad.
4. Las pruebas conductuales sugieren que en los niños existe una ventana amplia de maduración en el proceso de decisión de emitir una respuesta. Posiblemente, la mayoría de los niños llegan a producir adecuadamente las respuestas de forma rápida, pero alcanzan la madurez a distintos ritmos.

5. Los sujetos de menor edad, los niños, en las tareas que necesitan la emisión de una respuesta rápida, son capaces de desarrollar criterios de respuestas válidas aunque necesitan de una ventana temporal más amplia que los de mayor edad.
6. En ambos experimentos, existe una relación inversa entre la edad de los sujetos y los TRs que invierten para la emisión de respuestas. Lo mismo sucede respecto a los distintos tipos de errores. Al aumentar la edad de los sujetos, y posiblemente relacionado con la maduración visuo-motora y del cortex prefrontal, los TRs y número de errores disminuyen.
7. La disminución de omisiones con la edad en ambos experimentos, y el sesgo de respuesta conservador de los niños en el Experimento II, sugiere que los niños utilizan estrategias de tipo conservador cuando se confrontan a tareas de respuestas rápidas.
8. Los resultados de los PREs muestran que las distintas áreas cerebrales poseen sus propios ritmos de maduración y no lo hacen al unísono (heterocronicidad).

9. La maduración de los PREs sugiere que las áreas frontales son las últimas en madurar. Ésta se completa en la edad de la adolescencia. Las áreas posteriores del cerebro son las primeras en madurar, aunque la maduración del P3b sugiere que también existen distintos ritmos de maduración en áreas posteriores.
  
10. Los PRES sugieren que existe un gradiente de maduración cerebral posterior-anterior, acompañada de un gradiente de maduración desde áreas de asociación de bajo nivel a áreas de alto nivel.

## 18. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

### EXPERIMENTO I

1. En el Experimento I, consideramos que la muestra no es lo suficiente amplia y balanceada.
2. No tuvimos en cuenta si los sujetos que participaron en la tarea eran jugadores habituales o no de videojuegos.

### EXPERIMENTO II

1. Hay que reconocer que, aunque en general el tamaño de la muestra es grande, el número de sujetos por cada grupo de edad es de relativamente pequeño (cuatro de sexo femenino y cuatro de sexo masculino por cada grupo de edad). Por ello, la generalización de los resultados de este estudio presenta esta limitación.

2. Aunque los estímulos visuales elegidos (Pokemons y Digimons) fueron muy escogidos para que no resultaran familiares y provocaran distracciones, es posible que en algunos casos los sujetos los reconocieran y ello contribuyera a la distracción.

3. En la tarea de reconocimiento de estímulo objetivo novedosos participaron una amplia muestra comprendida entre los 6 y los 26 años de edad. En el intento de adaptarla a los más pequeños y que la falta de comprensión no alterara los

resultados, podría haberla convertido en una prueba demasiado simple para los adultos.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ✚ Adler, S. A.; Gerhardstein, P.; Rovee-Collier, C. (1998). Levels-of-processing effects in infant memory? *Child Development*, 69(2), 280-294.
- ✚ Adler, S. A.; Orprecio, J. (2006). The eyes have it: Visual pop-out in infants and adults. *Developmental Science*, 9(2), 189-206.
- ✚ Allport, D. A. (1980). Attention and Performance. En G.L. Claxton (Ed.). *Cognitive Psychology. New directions*. pp. 112-153. Londres: Routledge y Kegan Paul.
- ✚ Anhokin, A. P.; Birbaumer, N.; Lutzenberger, W.; , Nikolaev, A.; , Vogel, F. (1996). Age increases brain complexity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(1), 63-68.
- ✚ Anllo-Vento, L.; Luck, S. J.; Hilliard; S. A. (1998). Spatio-temporal dynamics of attention to color: evidence from human electrophysiology. *Human Brain Mapping*, 6(4), 216-238.

- ✚ Arrington, C. M.; Carr, T. H.; Mayer, A.R.; Rao, S.M. (2000). Neural mechanisms of visual attention: object-based selection of a region in space. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(2), 106-117.
- ✚ Baranov-Krylov, IN; Kuznetzova, T.G; Ratnikova, V.K (2009). Attention parameters in visual search task in different age groups. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 39(5), 481-482.
- ✚ Barceló, F.; Escera, C.; Corral, M. J.; Periañez, J. A. (2006). Task switching and novelty processing activate a common neural network for cognitive control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(10), 1734-1748.
- ✚ Barceló, F.; Periañez, J. A.; Knight, R. T. (2002). Think differently: a brain orienting response to task novelty. *NeuroReport*, 13(15), 1887-1892.
- ✚ Barch, D.M.; Braver, T.S.; Sabb, F.W.; Noll, D. C. (2000). Anterior cingulate and the monitoring of response conflict: evidence from an fMRI study of overt verb generation. *Journal of Cognitive*, 12, 298-309.
- ✚ Barriga-Paulino, C. I.; Rodríguez-Martínez, E. I.; Rojas-Benjumea, M. A.; Gómez, C. M. (2014). Slow wave maturation on a visual working memory task. *Brain and Cognition*, 88, 43-54.

- ✚ Barriga-Paulino, C. I.; Flores, A. B.; Gómez, C. M. (2011). Developmental changes in the EEG rhythms of children and young adults analyzed by means of correlational, brain topography and principal component analysis. *Journal of Psychophysiology*, 25(3), 143-58.
- ✚ Basar-Eroglu, C.; Başar, E.; Demiralp, T.; Schürmann, M. (1992). P300-response: possible psychophysiological correlates in delta and theta frequency channels. *A review. Int J Psychophysiology.*, 13, 161-179
- ✚ Bashore, T. R.; Van der Molen, M. (1991). Discovery of P300: a tribute. *Biol Psycho*, 32, 155-171. Anterior cingulate and the monitoring of response conflict: evidence from an fMRI study of overt verb generation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(2), 298-309.
- ✚ Bekker, E. M.; Kenemans, J. L.N.; Verbaten, M. N. (2004). Electrophysiological correlates of attention, inhibition, sensitivity and bias in a continuous performance task. *Clinical Neurophysiology*, 115(9), 2002-2013.
- ✚ Bell, A. J.; Sejnowski, T. J. (1995). An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution. *Neural Computation*, 7(6), 1129-1159.
- ✚ Bender, S.; Weisbrod, M.; Bornfleth, H.; Resch, F.; Oelkers-Ax, R. (2005). How do children prepare to react? Imaging

maturation of motor preparation and stimulus anticipation by late contingent negative variation. *Neuroimage*, 27(4), 737-752.

✚ Benjamin, R.; Hultsch, D. F.; Strauss, E. H.; Hunter, M. A.; Tannock, R. W. (2005). Inconsistency in reaction time across the life span. *Neuropsychology*, 19(1), 88-96.

✚ Bermejo, V. (1987). Procesos atencionales y aplicaciones educativas. *Psiquis*, VIII, 46-53.

✚ Bhatt, R. S.; Rovee-Collier, C.; Weiner, S. (1994). Developmental changes in the interface between perception and memory retrieval. *Developmental Psychology*, 30(2), 151-162.

✚ Bhatt, R. S.; Waters, S. E. (1998). Perception of Three-Dimensional Cues in Early Infancy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 70(3), 207-224.

✚ Bledowski, C.; Prvulovic, D.; Hoehstetter, K.; Scherg, M.; Goebel, R.; Linden, D. E. (2004). Localizing P300 generators in visual target and distractor processing: a combined event-related potential and functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 24(42), 9353-9360.

✚ Breton, F.; Ritter, W., Simson, R., Vaughan, J. R., H.G. (1988). The N2 component elicited by stimulus matches and multiple targets. *Biological Psychology*, 27(1), 23-44.

- ✚ Broadbent, D. E. (1958). Perception and communication. New York: Pergamon.
- ✚ Carretié, L.; Hinojosa, J.A.; Martín-Loeches, M., Mercado, F. and Tapia, M. (2004). Automatic attention to emotional stimuli: neuronal correlates. *Human Brain Mapping*, 22(4), 290-299.
- ✚ Carretié, L.; Mercado F.; Tapia, M. (2001). Human brain activity in response to emotional visual stimuli: open issues and recent data. *Revista de Neurología*, 33(10), 973-979.
- ✚ Catherwood, D.; Skoien, P.; Holt, C.; (1996). Colour pop-out in infant response to visual arrays. *British Journal of Developmental Psychology*, 14(3), 315-326.
- ✚ Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 25(5).
- ✚ Cherry, E. C.; Taylor, W. K. (1954). Some further experiments on the recognition ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975-979.
- ✚ Chiarenza, G. A.; Papakostopoulos, D.; Giordana, F.; Guareschi-Cazzullo, A. (1983). Movement-related brain macropotentials during skilled performances. A developmental study. *EEG and Clinical Neurophysiology*, 56(4), 373-383.
- ✚ Clark, V. P.; Hillyard, S. A. (1996). Spatial selective attention affects early extrastriate but no striate components of the

- visual evoked potential. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 387-402.
- ✚ Colmenero, J. M.; Catena, A., Fuentes, L. J. (2001). Atención visual: Una revisión sobre las redes atencionales del cerebro. *Anales de Psicología*, 17(1); 45-67.
- ✚ Colombo, J.; Ryther, J. S.; Frick, J. E.; Gifford, J. J. (1995). Visual pop-out in infants. Evidence for pre-attentive search in 3-and-4- months-olds. *Psychonomic Bulletin and Review*, 2(2), 266-268.
- ✚ Corbetta, M. (1998). Fronto-parietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: identical, independent, or overlapping neural systems? *Proceedings National Academy of Sciences*, 95(3), 831-838
- ✚ Corbetta, M.; Miezin, F. M.; Shulman, G. L.; Petersen, S. E. (1993). A PET of visuospatial attention. *Journal of Neuroscience*, 13, 1202-1226.
- ✚ Corbetta, M.; Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201-215.
- ✚ Corbetta, M.; Kincade, J. M.; Ollinger, J. M.; McAvoy, M. P.; Shulman, G. L. (2000). Voluntary orienting is dissociated

from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 3(3), 292-297.

- ✚ Coull, J. T. (1998). Neural correlates of attention and arousal: insight from electrophysiology functional neuroimaging and psychopharmacology. *Progress in Neurobiology*, 55(4), 343-361.
  
- ✚ Courchesne, E. (1978). Neurophysiological correlates of cognitive development: changes in long latency event-related potentials from childhood to adulthood. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45(4), 468-82.
  
- ✚ Courchesne, E.; Hillyard, S. A.; Courchesne R. Y. (1977b). P3 waves to the discrimination of targets in homogeneous and heterogeneous stimulus sequences. *Psychophysiology*, 14, 590-597.
  
- ✚ Courchesne, E.; Hillyard, S. A.; Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and de visual evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39, 131-143.
  
- ✚ Crowley, K. E.; Colrain, I. M. (2004). A review of the evidence for P2 being an independent component process: age, sleep and modality. *Clinical Neurophysiology*, 115(4), 732-744.

- ✚ Day, M. C. (1978). Visual search by children: The effect of background variation and the use of visual cues. *Journal Experimental Child Psychology*, 25(1), 1-16.
- ✚ Day, M.C. (1975). Developmental trends in scanning. *Advances in Child Development and Behavior*. Reese (Ed.), 10, pp. 153-193. NY: Academic.
- ✚ Delorme, A.; Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9-21.
- ✚ Deutsch, J. A.; Deutsch, D. (1963). Attention. Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 87, 272-300.
- ✚ Di Russo, F.; Martínez, A.; Sereno, M. I.; Pitzalis, S.; Hillyard, S. A. (2002). Cortical sources of the early components of the visual evoked potential. *Human Brain Mapping*, 15(2), 95-111.
- ✚ Díaz, F.; Amenedo, E. (2001). Demencia senil: Enfermedad de Alzheimer. En M.A. Simón & E. Amenedo (Coord.). *Manual de psicofisiología clínica*, 155-188. Madrid: Pirámide.
- ✚ Dien, J.; Spencer, KM.; Donchin E. (2003). Localization of the event-related potential novelty response as defined by principal component analysis. *Cognitive Brain Research*, 17(3), 637-650.

- ✚ Digiacomo, M. R.; Marco-Pallarés, J.; Flores, A. B.; Gómez, C. M. (2008). Wavelet analysis of the EEG during the neurocognitive evaluation of invalidly cued target. *Brain Research, 1234*, 94-103.
- ✚ Donchin E. Surprise!...Surprise? (1981). *Psychophysiology, 18*, 493-513.
- ✚ Donchin, E.; Coles, G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Science, 11*(3), 357-374.
- ✚ Donchin, E.; Hefley, E. F. (1978). Multivariate analysis of event-related potential data: A tutorial review. Otto (Ed.), *Multidisciplinary perspectives in event-related brain potential research*, pp.555-572. Washington D. C.: U. S. Government Printing Office.
- ✚ Duncan- Johnson, C.; Donchin, E. (1977). On quantifying surprise the variation in event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology, 14*(5), 456-457.
- ✚ Duncan, J.; Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences, 23*, 475-483
- ✚ Duncan, J; Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review, 96*(3), 433-458.

- ✚ Duncan-Johnson C. C.; Donchin, E. (1982). The P300 component of the event related brain potential as an index of information processing. *Biological Psychology*, 14, 1–52.
- ✚ Dye, M.; Bavelier, D. (2010). Differential development of visual attention skills in school age children. *Vision Research*, 50(4), 452-459.
- ✚ Emmerson, R. Y.; Dustman, R. E.; Shearer, D. E.; Turner, C. W. (1989). P3 latency and symbol digit performance correlations in aging. *Experimental Aging Research*, 15(3-4), 151-159.
- ✚ Escera, C.; Aho, K.; Winkler, I.; Näätänen, R. (1998). Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change. *Journal of Cognitive Neuroscience.*, 10(5), 590-604.
- ✚ Fantz, R. L. (1963). Pattern vision in newborn infants. *Science*, 140, 296-297.
- ✚ Flavell, J. (1985). La psicología evolutiva en Jean Piaget. pp. 183-190. *Méjico: Paidós*.
- ✚ Flores, A. B.; Gómez, C. M.; Meneres, S. (2010). Evaluation of spatial validity-invalidity effects by the P300 component in children and young adults. *Brain Research Bulletin*, 81(6), 525-533.

- ✚ Flores, A.; Digiacomio, M. R.; Meneres, S.; Trigo, E.; Gómez, C. M. (2009). Development of preparatory activity indexed by the contingent negative variation in children. *Brain and Cognition*, 71(2), 129-140.
- ✚ Ford, J.M.; Roth, W. T.; Kopell, B. S. (1976). Auditory evoked potentials to unpredictable shifts in pitch. *Psychophysiology*, 13, 32-39.
- ✚ Forsman, R. (1967). Age differences in the effects of stimulus complexity and symmetrical form on choice reaction and visual search performance. *Journal of Experimental Child Psychology*, 5(3), 406-429.
- ✚ Friedman, D.; Cycowicz, Y. M.; Gaeta, H. (2001). The novelty P3: an event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 25(4), 355-373.
- ✚ Fuchigami, T.; Okubo, O.; Ejiri, K.; Fujita, Y.; Kohira, R.; et al. (1995). Developmental changes in P300 wave elicited during two different experimental conditions. *Pediatric Neurology*, 13(1), 25-28.
- ✚ Fuentes, L. J.; García, J. (2008). Manual de Psicología de la Atención. Una perspectiva neurocientífica. Vallehermoso, Madrid: Síntesis.

- ✚ García Ogueta, M. I. (1994). La atención. Frases y mecanismos. En V. Bermejo (Ed.), *Desarrollo Cognitivo*, pp. 279-300. Madrid: Síntesis
- ✚ García-Larrea, L.; Lukaszewicz, A. C.; Mauguier, F. (1992). Revisiting the oddball paradigm. Non-target vs. neutral stimuli and the evaluation of ERP attentional effects. *Neuropsychology*, 30(8), 89-98.
- ✚ García-Sevilla, J. (2008). Psicología de la atención. *Madrid: Síntesis*.
- ✚ Gerhardstein, P.; Liu, J.; Rovee-Collier, C. (1998). Perceptual constraints on infant memory retrieval. *Journal of Experimental Child Psychology*, 69(2), 109-131.
- ✚ Gerhardstein, P.; Renner, P.; Rovee-Collier, C. (1999). The roles of perceptual and categorical similarity in color pop-out in infants. *British Journal Development Psychology*, 17(3), 403-420.
- ✚ Gerhardstein, P.; Rovee-Collier, C. (2002). The development of visual search in infants and very young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(2), 194-215.
- ✚ Giedd, J. N.; Lalonde, F. M.; Celano, M.J.; White, S. L.; Wallace, G. L.; Lee, N. R.; Lenroot, R. K. (2009). Anatomical brain magnetic resonance imaging of typically developing

- children and adolescents. *Journal of American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 48(5), 465-470.
- ✚ Gitelman, D. R.; Nobre, A. C.; Parrish, T.B.; LaBar, K.S.; Kim, Y. H; Meyer, J.R.; Mesulam, M. (1999). A large-scale distributed network for covert spatial attention: further anatomical delineation based on stringent behavioral and cognitive controls. *Brain*, 122, 1093-1106.
- ✚ Gold, J. M.; Fuller, R. L.; Robinson, B. M.; Braun, E. L.; Luck, S. J. (2007). Impaired top-down control of visual search in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 94(1-3), 148-155.
- ✚ Goldman-Rakic, P. S. (1971). Functional development of the prefrontal cortex in early life and the problem of neuronal plasticity. *Experimental Neurology*, 32(3), 366-387.
- ✚ Gómez, C. M.; Clark, V. P.; Luck, S. J.; Fan, S.; Hillyard, S. A. (1994). Sources of attention-sensitive visual event-related potentials. *Brain Topography*, 78(1), 137-156.
- ✚ Gómez, C. M.; Flores, A.; Digiacomo, M. R.; Ledesma, A.; González-Rosa, J. (2008). P3a and P3b components associated to the neurocognitive evaluation of invalidly cued targets. *Neuroscience Letters*, 430(2), 181-185.
- ✚ Gómez-Pérez, E.; Ostrosky-Solís, F.; Próspero-García, O. (2003). The development of attention, memory and the inhibitory processes: the chronological relation with the

- maturation of brain structure and functioning. *Revista de Neurología*, 37(6), 561-567
- ✚ Gumenyuk, V.; Korzyukov, O.; Alho, K.; Escera, C.; Näätänen, R. (2004). Effects of auditory distraction on electrophysiological brain activity and performance in children aged 8-13 years. *Psychophysiology*, 41(1), 30-36.
- ✚ Hagen, J. W., Wilson, K. P. (1982). Some selected thoughts on attention: a replay to Lane and Pearson. *Merril-Palmer Quarterly*, 28(4), 529-532.
- ✚ Hagen, J. W.; Hale, G. H. (1973). The development of attention in children. Pick (Ed.), Minnesota: *Symposia on Child Psychology*, 7, 117-140.
- ✚ Haith, M. M. (1966). The response of the human newborn to visual moment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 3, 235-243.
- ✚ Hale, G. H. (1979). Development in children's attention to stimulus components. Hale and Lewis (Eds.), *Attention and cognitive development*, pp. 43-64. NY: Plenum.
- ✚ Hershenson, M. (1964). Visual discrimination in the human newborn. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 58, 270-276.

- ✚ Hershenson, M.; Munsinger, H.; Kessen, W. (1965). Preference for shapes of intermediate variability in the newborn human. *Science*, 147, 630-631.
- ✚ Heslenfeld D. (2003). Visual mismatch negativity. In: Polich J, editor *Detection of change: event-related potential and fMRI findings*, pp. 41–59. Boston: Kluwer.
- ✚ Hickey, C.; Theeuwes, J. (2009). The time course of exogenous and endogenous control of covert attention. *Experimental Brain Research*, 201(4), 789-796. (First citation).
- ✚ Hillyard, S. A, Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 781–787.
- ✚ Hommel, B.; Li, K. Z. H.; Li, S. C. (2004). Visual Search across the life span. *Development Psychology*, 40(4), 545-558.
- ✚ Israel, J. B.; Chesney, G. L.; Wickens, C. D.; Donchin, E. (1980). P300 and tracking difficulty: evidence for multiple resources in dual-task performance. *Psychophysiology*, 17, 259–73.
- ✚ James, W. (1890). *The principles of Psychology*. New York: Holt.

- ✚ Johnson, R.; Pfefferbaum, A.; Kopell, B. S. (1985). P300 and long-term-memory: latency predicts recognition performance. *Psychophysiology*, 22, 497-507.
- ✚ Johnson, R.; Donchin, E. (1982). Sequential expectancies and decision-making in a changing environment an electrophysiological approach. *Psychophysiology*, 19, 183-200.
- ✚ Jonkman, L. M.; Kenemans, J. L.; Kemner, C.; Verbate, M. N.; van Engeland, H. (2004). Dipole source localization of event-related brain activity indicative of an early visual selective attention deficit in ADHD children. *Clinical Neurophysiology*, 115(7), 537-549.
- ✚ Kagan, J. (1970). The determinants of attention in the infant. *American Scientist*, 58, 298-306.
- ✚ Kahneman, D. (1973). Attention and effort. *Universidad de Michigan: Prentice Hall*.
- ✚ Kearsley RB. (1973). The newborn's response to auditory stimulation: a demonstration of orienting and defensive behavior. *Child Development*, 44(3), 582-590.
- ✚ Kenemans, J. L.; Camfferman, G.; Verbate, M. N. (2002). Split-second sequential selective activation in human secondary visual cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(1), 48-61.

- ✚ Kenemans, J. L.; Kok, A.; Smulders, F. T. (1993). Event-related potentials to conjunctions of spatial frequency and orientation as a function of stimulus parameters and response requirements. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology*. 88(1), 51-63.
- ✚ Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 138-147.
- ✚ Klenberg, L.; Korkman, M.; Lahti-Nuutila, P. (2001). Differential development of attention and executive function in 3 to 12 years-old. Finnish children. *Developmental Neuropsychology*, 20(1), 407-428.
- ✚ Knight R. T.; Grabowecky, M.; Scabin, i D. (1995). Role of human prefrontal cortex in attention control. *Advances in Neurology*, 66, 21–34.
- ✚ Knight, R. T. (1984). Decreased response to novel stimuli after prefrontal lesions in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59, 9–20.
- ✚ Knight, R. T.; Scabini, D. (1998). Anatomic bases of event-related potentials and their relationship to novelty detection in humans. *Journal of Clinical of Neurophysiology*, 15(1), 3-13.
- ✚ Kok, A. (1990). Internal and external control: a two-factor model of amplitude change of event-related potentials. *Biology Psychology*, 74, 203–36.

- ✚ Kok, A. (1997). Event-related potential (ERP) reflections of mental resources: a review and synthesis. *Biology Psychology*, 45, 19–56.
  
- ✚ Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38, 557–577.
  
- ✚ Kok, A. (1990). Internal and external control: a two-factor model of amplitude change of event-related potentials. *Acta Psychologica*, 74(2-3), 203-236.
  
- ✚ Kramer, A. F.; Wickens, C. D.; Donchin, E. (1985). Processing of stimulus properties: evidence for dual-task integrality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception Performance*, 11, 393–408.
  
- ✚ Kujala, A.; Näätänen, R. (2003). Auditory environment and change detection as indexed by the mismatch negativity (MMN). Polich (Ed). *Detection of change: event-related potential and fMRI findings*, pp. 1–22, Boston: Kluwer.
  
- ✚ Lane, D. M.; Parson, D. A. (1982). The developmental of selective attention. *Merril-Palmer Quarterly*, 28(3), 317-337.
  
- ✚ Lavie, N.; Tsal, Y. (1995). Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention. *Perception and Psychophysics*, 56, 183-197

- ✚ Lawrence, S.; Zittel-Palamara, K. M.; Wodarski, L. A.; Wodarski, J. (2003). Behavioral health: Treatment and prevention of chronic disease and the implications for social work practice. *Journal of Health and Social Policy*, 17(2), 49-65.
- ✚ Liu, S.; Anzures, G.; Ge, L.; Quinn, P. C.; Pascalis, O.; Slater, A. M.; Tanaka, J. W.; Lee, K. (2013). Development of recognition of face parts from unfamiliar faces. *Infant and Child Development*, 22(2), 165-179.
- ✚ Lobaugh, N. J.; Cole, S.; Rovet, J. F. (1998). Visual Search for features and conjunctions in development. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 52(4), 201-211.
- ✚ Logan, G. D; Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review*, 91(3), 295-327.
- ✚ Lovstad, M.; Funderud, I.; Lindgren, M.; Endestad, T.; Due-Tønnessen, P.; Meling, T.; Voytek, B.; Knight, R. T; Solbakk, A-K. (2012). Contribution of subregions of human frontal cortex to novelty processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(2), 378-95.
- ✚ Luck, S. J. (2005). An introduction to the event-related potentials technique. *Cambridge; M A. 02142-1209*

- ✚ Luck, S. J.; Hillyard, S. A. (1994). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31(3), 291-308.
- ✚ Luna, B.; Garver, E.; Urban, T. A.; Lazar, N. A.; Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*, 75(5), 1357-1375.
- ✚ Magliero, A.; Bashore, T. R.; Coles, M.G.H.; Donchin, E. (1984). On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology*, 21, 171-186.
- ✚ Määttä, S.; Herrgard, E.; Saavalainen, P.; Pääkkönen, A.; Könönen, M.; Luoma, L.; Laukkanen, E.; Yppäriä, H.; Partenen, J. (2005). P3 amplitudes and time-on-task effects in distractible adolescents. *Clinical Neurophysiology: official journal of the international Federation of Clinical Neurophysiology*, 116(9), 2175-2183.
- ✚ Makeig, S.; Westerfield, M.; Jung, T. P.; Covington, J.; Townsend, J.; Sejnowski, T. J.; Courchesne, E. (1999). Functionally independent components of the late positive event-related potential during visual spatial attention. *Journal Neuroscience*, 19(7), 2665-2680.
- ✚ Makeig, S. (1993). Auditory event-related dynamics of the EEG spectrum and effects of exposure to tones.

*Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 86(4), 283-293.

- ✚ Mangun, G. R.; Hillyard, S. A. (1991). Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17(4), 1057-1074.
  
- ✚ Mangun; G.R.; Hillyard, S.A. (1995). Mechanisms and models of selective attention. *Electrophysiology of mind: event-related brain potentials and cognition. Oxford Psychology Series, 25*, 40-85.
  
- ✚ Marrocco, R.T.; Davidson, M.C. (1998). The Neurochemistry of Attention. In Parasuraman, R. (Ed.). *The Attentive Brain*. MIT Press: Cambridge, MA.
  
- ✚ Maylor, E. A.; Hockey, R. ((1985). Inhibitory component of externally controlled covert orienting in visual space. *Journal of Experimental Psychology Human Perception Performance* 11(6), 777-787.
  
- ✚ Mertens, R.; Polich, J. (1997a) P300 hemispheric differences from oddball, verbal, and spatial tasks. *Psychophysiology*, 104, 488-497.

- ✚ Mondloch, C. J.; Geldart, S.; Maurer, D.; de Schonen, S. (2003). Developmental changes in the processing of hierarchical shapes continue into adolescence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84(1), 20-40.
- ✚ Moores, K. A.; Clark, R. C.; Hadfield, J. L.; Brown, G. C.; Taylor, D. J.; Fitzgibbon, S. P.; Lewis, A. C.; Weber, D. L.; Greenblatt, R. et al. (2003). Investigating the generators of the scalp recorded visuo-verbal P300 using cortically constrained source localization. *Human Brain Mapping*, 18(1), 53-77.
- ✚ Näätänen, R.; Escera, C. (2000). Mismatch negativity: clinical and other applications. *Audiology and Neuro-otology*, 5(3-4), 105-110.
- ✚ Näätänen, R.; Gaillard, A. W. K. (1983). The orienting reflex and the N2 deflection of event-related potential (ERP). *Gaillard and Ritter (Eds.), Tutorials in ERP research: Endogenous Components*, pp. 119-214.
- ✚ Navon, D.; Gopher, D. (1979). On the economy of the human processing system. *Psychological Review*, 86, 214-255.
- ✚ Neisser, U. (1963). Decision time without reaction time: Experiments in visual scanning. *American Journal of Experimental Psychology*, 76(3), 376-385.

- ✚ Neisser, U. (1964). Visual Search. *Scientific American*, 210(6), 94-102.
- ✚ Norman, D. A.; Bobrow, D. C. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64.
- ✚ Oades, R. D.; Ditteann, B. A.; Zerbin, D. (1997). Development and topography of auditory event- related potentials (ERP): mismatch and processing negativity in individuals 8-22 years of age. *Psychophysiology*, 34(6), 677-693.
- ✚ Odom, R. D. (1982). Lane a Pearson's inattention to relevant information: A need for the theoretical specification of task information in developmental research. *Merril-Palmer Quaterly*, 28(3), 339-345.
- ✚ Öhman, A. (1993). Fear and anxiety as emotional phenomena. Clinical phenomenology, evolutionary perspectives, and information-processing mechanisms. Lewis and Haviland, (Ed.). *Handbook of emotions*, (pp. 511-536). New York: Guilford Press, 653 pp.
- ✚ Oken, B. S. (1997). Endogenous event-related potentials. In: Chiappa KH (Ed). *Evoked potentials in clinical medicine*. 3rd ed. pp. 529-564. Philadelphia: Lippincott-Raven.

- ✚ Orozco, M.; Suarez, J. F.; Orozco, A. A. (2009). Entrenamiento de sistemas en la identificación Automática de Patologías. *Cesar Germán Castellanos. Centro de Publicaciones UTP.*
- ✚ Paller, k.; Zola-Morgan, S.; Squire, L.; Hillyard, S. A. (1998). P3-like brain waves in normal monkeys and in monkeys with medial temporal lesions. *Behavioral Neuroscience*, 102, 714-725.
- ✚ Papenberg, G., Hämmerer, D.; Müller, V.; Lindenberger, U.; Li, S-C. (2013). Lower theta inter-trial phase coherence during performance monitoring is related to higher reaction time variability: a lifespan study. *NeuroImage*, 83, 912-920.
- ✚ Pardo, J.; Raiche, M. (1991). Localization of human system for sustained attention by positron emission tomography. *Nature*, 349, 61-64.
- ✚ Pelosi, L.; Holly, M.; Slade, T.; Hayward, M.; Barrett, G.; Blumhardt, L. D. (1992a). Event-related potential (ERP) correlates of performance of intelligence test. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 84(6), 515-520.
- ✚ Picton. T.W.; Hillyard, S. A.; Galambos, R. (1974). Cortical evoked responses to emitted stimuli. In M.N. Livanov (Ed.), *Major Problems of Brain Electrophysiologic.* Academy of Sciences, 302-311.

- ✚ Polich, J. (1989). Frequency, intensity and duration as determinants of P300 from auditory stimuli. *Journal Clinical Neurophysiology*, 6, 277-286.
- ✚ Polich, J. (2003). Overview of P3a and P3b. Polich (Ed), *Detection of change: event-related potential and fMRI findings*. pp. 83-89. Boston: Kluwer Academy Press.
- ✚ Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), 28-48.
- ✚ Polich, J.; Alexander, J. E.; Bauer, L. O.; Kuperman, S.; Morzorati, S.; O'Connor, S. J.; Porjesz, B.; Rohrbaugh, J.; Begleiter, H. (1997). P300 topography of amplitude/latency correlations. *Brain Topography*, 9(4), 275-282.
- ✚ Polich, J.; Burns, T. (1987). P300 from identical twins. *Neuropsychology*, 25, 299-304.
- ✚ Polich, J.; Howard, L.; Starr, A. (1983). P300 latency correlates with digit span. *Psychophysiology*, 20, 665-669.
- ✚ Ponomareva, N. V.; Fokin, V. F.; Selesneva, N. D.; Voskresenskaia, N. I. (1998). Possible neurophysiological markers of genetic predisposition to Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 9(5), 267-273.
- ✚ Portas, C. M.; Rees, G.; Howseman, A. M.; Josephs, O.; Turner, R.; Frith, C. D. (1998). A specific role for the

thalamus in mediating the interaction of attention and arousal in humans. *The Journal of Neuroscience*, 18(21), 8979-8989.

- ✚ Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- ✚ Posner, M. I., Driver, J. (1992). The neurobiology of selective attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 2(2), 165-169.
- ✚ Posner, M.I. (1996). Attentional networks and psychopathology. *Harvard Mental Health Review*, pp. 5-6.
- ✚ Posner, M. I.; Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. En H. Bouma y D. G. Bouwhuis (Ed.), *Attention and Performance X*, pp. 531-556. Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale.
- ✚ Posner, M. I.; Dehaene, S. (1994). Attentional Networks. *Trends in Neurosciences*, 17, 75-79.
- ✚ Posner, M. I.; Nissen, M. J.; Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick y I. J. Saltzman (Eds.), *Models of Perceiving and Information Processing*. Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- ✚ Posner, M. I.; Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- ✚ Posner, M. I.; Raichle, M. E. (1994). *Images of Mind*. New York: *Scientific American Library*.

- ✚ Posner, M. I.; Rothbart, M. K. (1998). Attention, self-regulation and consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Society*, 353(1377), 1915-1927.
- ✚ Posner, M. I.; Rothbart, M. K. (2009). Toward a physical basis of attention and self regulation. *Physics of Life Reviews*, 6(2), 103-120.
- ✚ Potts, G. F. (2004). An ERP index of task relevance evaluation of visual stimuli. *Brain and Cognition*, 56(1), 5-13.
- ✚ Potts, G. F.; Tucker, D. M. (2001). Frontal evaluation and posterior representation in target detection. *Cognitive Brain Research*, 11(1), 147-156.
- ✚ Pribram, K. H.; McGinness, D. (1975). Arousa, activation, and effort in the control of attention. *Psychological Review*, 82(2), 116-149.
- ✚ Putkinen, V.; Niinikuru, R.; Lipsanen, J.; Tervaniemi, M.; Huotilainen, M. (2012). Fast measurement of auditory event-related potential profiles in 2-3-year-olds. *Developmental Neuropsychology*, 37(1), 51-75.
- ✚ Rafal, R. D.; Posner, M. I. (1987). Deficits in human visual spatial attention following thalamic lesions. *Proceedings of National Academic of Sciences*, 84, 7349-7353.

- ✚ Rafal, R. D.; Posner, M. I.; Friedman, J. H.; Inhoff, A. W.; Bernstein, E. (1988). Orienting of visual attention in progressive supranuclear palsy. *Brain*, 111, 267-280.
- ✚ Rebok, B. J.; Smith, C. B., Pascualvaca, D. M.; Mirsky, A. F.; Anthony, B. J.; Kellam, S. G. (1997). Developmental changes in attentional performance in urban children from eight to thirteen years. *Child Neuropsychology*, 3(1), 28-46.
- ✚ Ritter, W.; Simson, R.; Vaughan, H. G. (1983). Event-related potential correlates of two stages of information processing in physical and semantic discrimination tasks. *Psychophysiology*, 20(2), 168-179.
- ✚ Ritter, W.; Vaughan, Jr. H.G.; and Costa, L. D. (1968). Orienting and habituation to auditory stimuli: a study of short term changes in average evoked responses. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 25(6), 550-556.
- ✚ Rodríguez-Martínez, E. I.; Barriga-Paulino, C.I.; Zapata, M. I, Chinchilla, C.; López-Jiménez, A. M.; Gómez, C. M. (2012). Narrow band quantitative and multivariate electroencephalogram analysis of peri-adolescent period. *BMC Neuroscience*, 13, 104.
- ✚ Rohrbaugh, J. W.; Syndulko, K.; Lindsley, D. B. (1979). Cortical slow negative waves following non-paired stimuli:

- effects of modality, intensity and rate of stimulation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 46(4), 416-427.
- ✚ Rojas-Benjumea, M. A.; Quintero-Gallego, E.; Zozaya, L.; Barriga-Paulino, C. I.; Gómez, C. M. (2013). Children cautious strategy and variable maturation time window for responding in a visual search task. *Psychology* 4(1), 19-32.
- ✚ Rueda, M.R.; Fan, J.; McCandliss, B. D.; Halparin, J. D.; Gruber, D. B.; Lercari, L. P.; Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychology*, 42, 1029-1040.
- ✚ Rushby, J. A.; Barry, R. J.; Johnstone, S. S. (2002). Event-related potential correlates of serial-position effects during an elaborative memory test. *International Journal of Psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 46(1), 13-27.
- ✚ Rushby, J. A.; Barry, R. J., Doherty, R. J. (2005). Separation of the components of the late positive complex in an ERP dishabituation paradigm. *Clinical Neurophysiology: official journal on the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 116(10), 2363-2380.

- ✚ Ruskin, E. M.; Kaye; D. B. (1990). Development differences in visual processing: Strategy versus structure. *Journal of Experimental Child Psychology*, 50(1), 1-24.
  
- ✚ Segalowitz, S. J.; Davies, P. L. (2004). Charting the maturation of the frontal lobe: an electrophysiological strategy. *Brain and Cognition*, 55(1), 116-133.
  
- ✚ Segalowitz, S. J.; Santesso, D. L.; Jetha, M. K. (2010). Electrophysiological changes during adolescence: a review. *Brain and Cognition*, 72(1), 86-100.
  
- ✚ Shiffrin, R. M.; Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 88(2), 127-189.
  
- ✚ Simson, R.; Vaughan, H. G.; Ritter, W. (1977). The scalp topography of potentials in auditory and visual discrimination tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42(4), 528-535.
  
- ✚ Sireteanu, R. (2000). Development of face processing: The effect of face inversion. *Child Development*, 71(2), 391-401.
  
- ✚ Skinner, B. F. (1975). La Conducta de los organismos: un análisis experimental. Fontanella: Conducta Humana

- ✚ Sokolov, E. N. (1960). Neural models and the orienting reflex. Brazier (Ed.). *The Central Nervous System and Behavior*. New York: Foundation.
  
- ✚ Sokolov, E. N. (1963). Perception and the conditioned reflex. Nueva York: Pergamon
  
- ✚ Sowell, E. R.; Thompson, P. M.; Tessner, K.D.; Toga, A. W. (2001). Mapping Continued Brain Growth and Gray Matter Density Reduction in Dorsal Frontal Cortex: Inverse Relationships during Postadolescent Brain Maturation. *The Journal of Neuroscience*, 21(22), 8819-8829.
  
- ✚ Squires, K. C.; Wickens, C.; Squires, N. K.; Donchin, E. (1976). Effect of stimulus sequence on waveform of cortical event-related potential. *Science*, 193(4258), 1142-1146.
  
- ✚ Squires, N. K.; Squires, K. C.; Hillyard, S. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38(4), 387-401.
  
- ✚ Stanislaw, H.; Todorov, N. (1999). Calculation of signal detection theory measures. *Behavior Research Methods, Instrument and Computers*, 31(1), 137-149.

- ✚ Stige, S.; Fjell, A. M.; Smith, L.; Lindgren, M.; Walhovd, K. B. (2007). The development of visual P3a and P3b. *Developmental Neuropsychology*, 32(1), 563-584.
- ✚ Sutton, S.; Brare, M.; Zubin, J.; John, E. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150(3700), 187-188.
- ✚ Thomas, K. M.; Nelson, C. A. (1996). Age-related changes in the electrophysiological response to visual stimulus novelty: a topographical approach. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 98(4), 294-308.
- ✚ Thomas, K. M. (1998). Psychological readiness for multicultural leadership. *Management Development Forum*, 1(1), 99-112
- ✚ Thompson, L. A.; Massaro, D. W. (1989). Before you see it, you see its parts: Evidence for feature encoding and integration in preschool children and adults. *Cognitive Psychology*, 21(3), 334-362.
- ✚ Treisman, A. M. (1986). Properties parts and objects. Kaufman and Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*, 2, pp. 1-70.
- ✚ Treisman, A. M.; Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.

- ✚ Treisman, A. M.; Gormican, S. (1988). Feature in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95(1), 15-48.
- ✚ Trick, L. M.; Enns, J. T. (1998). Lifespan changes in attention: The visual search task. *Cognitive Development*, 13(3), 369-386.
- ✚ Van der Stell, O.; Kok, A.; Smulders, F. T. Y.; Snel, J.; Gunning, W. B. (1998). Cerebral event-related potentials associated with selective attention to color: developmental changes from childhood to adulthood. *Psychophysiology*, 35(3), 227-239.
- ✚ Van der Stelt, O.; van der Molen, M.; Gunningb, W. B.; Koka A. (2001). Neuroelectrical signs of selective attention to color in boys with attention-deficit hyperactivity disorder. *Cognitive Brain Research. Cognitive brain research*, 12(2), 245-64.
- ✚ Van Leeuwen, T. H; Steinhausen, H. C.; Overtoom, C.C.; Pascual-Marqui, R. D.; Van' t Klooster, B.; Rothenberger, A.; Sergeant, J. A.; Brandeis, D.. (1998). The continuous performance test revisited with neuroelectric mapping: impaired orienting in children with attention deficits. *Behavioral Brain Research*, 94(1), 97-110.
- ✚ Vasta, R.; Haith, M. M.; Miller, S. A. (1992). Child psychology: The modern science. New York: Wiley.

- ✚ Vaughan, Jr., H. G. Ritter, W. (1970). The sources of auditory evoked responses recorded from the human head. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 28, 360-367.
- ✚ Vázquez, M.; Vaquero, E.; Cardoso, M. J.; Gómez, C. M. (2002). Significado funcional de los componentes de los Potenciales Evocado visuales en el proceso de la atención al espacio y a los objetos. *Cognitiva*, 14(2), 213-234.
- ✚ Vega, M. (1984). Introducción a la psicología cognitiva. Alianza
- ✚ Veleger, R. (1988). Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 343-427.
- ✚ Verleger, R.; Jas' kowskis, P.; Wacher, E. (2005). Evidence of an integrative role of P3b in linking reaction to perception. *Journal of Psychophysiology*, 19, 165-181.
- ✚ Vurpillot, E. (1968). The development of scanning strategies and their relation to visual differentiation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 6, 632-650.
- ✚ Wetzel, N.; Schröger, E. (2007). Modulation of involuntary attention by the duration of novel and pitch deviant sounds in children and adolescents. *Biological Psychology*, 75(1), 24-31.

- ✚ Wetzels, N.; Schröger, E. (2014). On the development of auditory distraction: a review. *PsyCh Journal*, 3(1), 72-91.
- ✚ Wickens, C.; Kramer, A.; Vanasse, L.; Donchin, E. (1983). Performance of concurrent tasks: a psychophysiological analysis of the reciprocity of information processing resources. *Science*, 221, 1080–1082.
- ✚ Wijers, A. A.; Lamain, W.; Slopsema, J. S., Mulder, G.; Mulder L. J. M. (1989). An electrophysiological investigation of the spatial distribution of attention to colored stimuli in focused and divided attention conditions. *Biological. Psychology*, 29(3), 213-245.
- ✚ Wolfe, J.M. (1998) Visual Memory: What do you know about what you saw? *Current Biology*, 8(9), 303-304.
- ✚ Woodman, G. F.; Luck, S. J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 400, 867-869.
- ✚ Woodman, G. F.; Luck, S. J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 121-138.
- ✚ Worden, M. S.; Foxe, J. J.; Wang, N.; Simpson, G. V. (2000). Anticipatory Biasing of Visuospatial Attention Biasing of Visuospatial Attention Indexed by Retinotopically Specific a-

*Band Electroencephalography Increases over Occipital Cortex. The Journal of Neuroscience, 20(6), 1-6.*

- ✚ Wunderlich, J.L.; Cone-Wesson, B.K. (2001). Effects of stimulus frequency and complexity on the mismatch and other components of the cortical auditory-evoked potential. *The Journal of Acoustical Society of America, 109(4), 1526-1537.*
  
- ✚ Yakovlev, P. I.; Lecours, A. (1967). The myelogenetic cycles of regional maturation of the brain. Minkowski, A. (Ed). Regional development of the brain in early life. pp. 3-70. *Oxford: Blackwell.*
  
- ✚ Yamaguchi, S. (2004). Neural network for novelty processing. *Supplements to Clinical Neurophysiology, 57, 635-641.*
  
- ✚ Yamazaki, T.; Kamijo, K.; Kenmochi, A.; Fukuzumi, S.; Kiyuna, T.; Takaki, Y.; Kuroiwa, Y.I. (2000). Multiple equivalent current dipole source localization of visual event-related potentials during oddball paradigm with motor response. *Brain Topography, 12(3), 159-175.*
  
- ✚ Ziegler, J. C.; Besson, M.; Jacobs, A. M.; Nazir, T. A.; Carr, T.H. (1997). Word, pseudoword, and nonword processing: a multitask comparison using event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9(6), 758-775.*

**ANEXOS**

## **ANEXO 1**

“Children Cautious Strategy and Variable Maturation Time Window for Responding in a Visual Search Task ”

## **ANEXO II**

### Artículo

“Development of behavioral parameters and PREs in a novel-target visual detection paradigm in children, adolescents and young adults”