

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**Departamento de Oftalmología y Otorrinolaringología**



**TESIS DOCTORAL**

**Visión táctil : una forma de reconocimiento espacial mediante  
estimulación táctil pasiva en sujetos invidentes**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Angélica Millie Soria Claros**

Directores

Tomás Ortiz Alonso  
Juan José Salazar Corral

**Madrid, 2017**



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA VISIÓN (DEPARTAMENTO DE  
OFTALMOLOGÍA Y OTORRINOLARINGOLOGÍA)

TESIS DOCTORAL

**VISIÓN TÁCTIL: UNA NUEVA FORMA DE RECONOCIMIENTO  
ESPACIAL MEDIANTE LA ESTIMULACIÓN TÁCTIL PASIVA EN  
SUJETOS INVIDENTES**

**Angélica Millie Soria Claros**

Madrid, 2016





UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA VISIÓN  
(DEPARTAMENTO DE OFTALMOLOGÍA Y OTORRINOLARINGOLOGÍA)  
DEPARTAMENTO DE PSIQUIATRÍA – INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
OFTALMOLÓGICAS RAMÓN CASTROVIEJO

TESIS DOCTORAL

**VISIÓN TÁCTIL: UNA NUEVA FORMA DE RECONOCIMIENTO  
ESPACIAL MEDIANTE LA ESTIMULACIÓN TÁCTIL PASIVA EN  
SUJETOS INVIDENTES**

**Angélica Millie Soria Claros**

Dirigida por:

Directores: Dr. Tomás Ortiz Alonso

Dr. Juan José Salazar Corral

Madrid, 2016





Tomás Ortiz Alonso, Catedrático del Departamento de Psiquiatría de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid,

y

Juan José Salazar Corral, Profesor Titular del Departamento de Oftalmología y Otorrinolaringología de Facultad de Óptica y Optometría (UCM)

#### AUTORIZAN

La presentación de la Tesis Doctoral de *Angélica Millie Soria Claros* titulada **“Visión táctil: una nueva forma de reconocimiento espacial mediante la estimulación táctil pasiva en sujetos invidentes”** ha sido realizada bajo nuestra dirección y supervisión, la memoria cumple los criterios de originalidad y rigor en la investigación necesarios para su evaluación y la obtención del grado de Doctor por la Universidad Complutense de Madrid.

Para que conste donde fuera necesario, expiden y firman el presente certificado, en Madrid, a 15 de septiembre de 2016

Tomás Ortiz Alonso

Juan José Salazar Corral



## **Dedicatorias**

Al llegar al final de este proyecto quiero dar gracias a todas las personas que me han ayudado y hecho posible su conclusión. En primer lugar quiero dar las gracias la ayuda de mis directores el Dr. Tomás Ortiz Alonso, por su apoyo incondicional, siendo para mí un honor encontrármelo en mi camino y al Dr. Juan José Salazar Corral por su apoyo constante en lo administrativo, formal y lectura de la tesis. Al Dr. Gregorio Gómez Jarabo por su apoyo desmedido. También quiero dar las gracias a mis compañeras Elena Ortiz Terán por su enseñanza meticulosa y ordenada en la administración e interpretación de potenciales evocados y a Verónica Núñez por su ánimo y cariño que siempre me ha sabido dar en todo momento.

Agradecer a mi madre que siempre está dispuesta acompañarme en mis nuevos proyectos alentándome y a mi abuela Antonia, que ha sido una guía en mi vida y sé que desde algún lugar me protege y me da fuerzas. También quiero dar las gracias a mis amigos incondicionales como José Luis, Felipe y Lila que siempre me han dado fuerzas y apoyo, y a Valentino mi compañero inseparable.



<b>Índice general</b>	<b>Página</b>
RESUMEN	i
SUMMARY	v
1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Aspectos generales	1
1.2.- Neuroplasticidad cerebral mediante estimulación táctil	5
1.3.- Qualia visual mediante estimulación táctil pasiva	10
1.4.- Organización neurofuncional de la lectura	14
1.4.1.- Organización neuroanatómica	14
1.4.2.- Potenciales evocados	18
1.4.2.1.- Componente N200 de los PE	20
1.4.2.2.- Componente N400 de los PE	25
2.- JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	29
2.1.- Justificación	29
2.2.- Hipótesis	31
2.3.- Objetivos	32
3.- MATERIAL Y MÉTODOS	33
3.1.- Muestra	33
3.2.- Prueba de registro de EEG durante estimulación táctil.	35
3.3.- Equipo de electroencefalografía (EEG)	41
3.4.- Método de reconstrucción de la localización de fuentes cerebrales	43
3.5.- Análisis estadísticos	44
3.6.- Procedimiento	44
4.- RESULTADOS	47
4.1.- Variables sociodemográficas	47
4.2.- Variables conductuales	48
4.2.1.- Líneas	48
4.2.1.1.- Tiempo de reacción	48

4.2.1.2.-	Aciertos y errores	49
4.2.2.-	Letras	50
4.2.2.1.-	Tiempos de reacción	50
4.2.2.2.-	Aciertos y errores	51
4.3.-	Componentes de los potenciales evocados N200 y N400	52
4.3.1.-	Latencias de los potenciales evocados N200 y N400	52
4.3.1.1.-	Líneas	52
4.3.1.2.-	Letras	53
4.3.3.-	Localización de fuentes cerebrales	54
4.3.3.1.-	Líneas	54
4.3.3.2.-	Letras	56
5.-	<b>DISCUSIÓN</b>	59
6.-	<b>CONCLUSIONES</b>	77
7.-	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	79
8.-	<b>ANEXOS</b>	95

## ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de varianza de un factor
CIE-10	Clasificación internacional de enfermedades decima edición
CI	Cociente intelectual
EEG	Electroencefalografía
EMT	Estimulación magnética transcraneal
EMTr	Estimulación magnética transcraneal repetitiva
FDR	False discovery rate
HD	Hemisferio derecho
HI	Hemisferio izquierdo
LOC	Corteza occipital lateral
LORETA	Low resolution electromagnetic tomography
MSEG	Milisegundos
N200	potencial evocado del componente negativo a 200 milisegundos de latencia
N400	Potencial evocado del componente negativo a 400 milisegundos de latencia
ODDBALL	Paradigma experimental relacionado “novedad”
OMS	Organización mundial de la salud
PBA	Probabilistic Brain atlas
PE	Potencial evocado
P300	Potencial evocado del componente positivo a 300 milisegundos de latencia
P100	Potencial evocado del componente positivo a 100 milisegundos de latencia
SSI	Área primaria somatosensorial
SII	Área secundaria somatosensorial
SPM	Statistical Parametric Mapping
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TR	Tiempo de reacción
TDA	Trastorno de déficit de atención
VWFA	Visual Word Form Area

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>		<b>Página</b>
Tabla 1	Características de la ceguera del grupo de niños invidentes.	33
Tabla 2	Características de los receptores táctiles de Meissner y Merkel, adaptado de Malamud-Kessler y cols. 2014.	39
Tabla 3	Características sociodemográficas.	47
Tabla 4	Resultados de las pruebas estadísticas para ver la homogeneidad de los grupos.	47
Tabla 5	Medias y desviaciones típicas de videntes e invidentes en el tiempo de reacción durante el reconocimiento de líneas. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.	48
Tabla 6	Medias y desviaciones típicas de videntes e invidentes en los aciertos y errores durante el reconocimiento de líneas. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.	49
Tabla 7	Medias y desviaciones típicas de videntes e invidentes, en el tiempo de reacción durante el reconocimiento de letras. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.	50
Tabla 8	Medias y desviaciones típicas de videntes e invidentes en los aciertos y errores durante el reconocimiento de letras. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.	51
Tabla 9	Medias y desviaciones típicas videntes e invidentes en las latencias de los componentes N200 y N400 durante el reconocimiento de líneas. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.	52
Tabla 10	Medias y desviaciones típicas de videntes e invidentes en las latencias de los componentes N200 y N400 durante el reconocimiento de letras. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.	53

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>		<b>Página</b>
Figura 1	Representación de un niño invidente discriminando líneas verticales, horizontales y oblicuas	35
Figura 2	Representación de un niño invidente discriminando letras mayúsculas	36
Figura 3	Mecano-receptores de la piel.	38
Figura 4	Representación morfológica de los componentes de los PE N200 y N400 localizados en el electrodo Pz . La ventana para el análisis de los componentes N200 y N400 fue determinada a partir de la máxima amplitud del electrodo Pz. Las fuentes neuronales de los mapas de actividad eléctrica cerebral se llevaron a cabo en un rango de 40 milisegundos (- 20 milisegundos antes y + 20 milisegundos después del pico de máxima amplitud del electrodo Pz )(marcado en gris en la gráfica)	40
Figura 5	128 canales del sistema ATI Vertex modelo EEG-128.	41
Figura 6	Casco Neuroscan, Quick cells expandidas y pipeta del sistema de rellenado de líquido.	42
Figura 7	Colocación de los electrodos para el control de movimientos oculares	43
Figura 8	Tiempo de reacción medio en los grupos de niños videntes e invidentes durante el reconocimiento de líneas.	48
Figura 9	Aciertos y errores medios en los grupos de niños videntes e invidentes durante el reconocimiento de líneas.	49
Figura 10	Tiempo de reacción medio en los grupos de niños videntes e invidentes durante el reconocimiento de letras.	50
Figura 11	Aciertos y errores medios en los grupos de niños videntes e invidentes durante el reconocimiento de letras.	51

Figura 12	Latencias medias de los componentes N200 y N400 durante el reconocimiento de líneas en los grupos de niños videntes e invidentes	52
Figura 13	Latencias medias de los componentes N200 y N400 durante el reconocimiento de letras en los grupos de niños videntes e invidentes.	53
Figura 14	Mapas medios de localización de fuentes mediante LORETA. Proyección de la energía bioeléctrica cerebral obtenida en ambos grupos, invidente y vidente, para el componente N200 durante el reconocimiento de líneas. Color rojo: áreas de máxima intensidad. Nivel de confianza de $p \leq 0,05$ .	54
Figura 15	Mapas medios de localización de fuentes mediante LORETA. Proyección de la energía bioeléctrica cerebral obtenida en ambos grupos, invidente y vidente, para el componente N400 durante el reconocimiento de líneas. Color rojo: áreas de máxima intensidad. Nivel de confianza de $p \leq 0,05$ .	55
Figura 16	Mapas medios de localización de fuentes mediante LORETA. Proyección de la energía bioeléctrica cerebral obtenida en ambos grupos, invidente y vidente, para el componente N200 durante el reconocimiento de letras. Color rojo: áreas de máxima intensidad. Nivel de confianza de $p \leq 0,05$ .	56
Figura 17	Mapas medios de localización de fuentes mediante LORETA. Proyección de la energía bioeléctrica cerebral obtenida en ambos grupos, invidente y vidente, para el componente N400 durante el reconocimiento de letras. Color rojo: áreas de máxima intensidad. Nivel de confianza de $p \leq 0,05$ .	57

## **RESUMEN**

### **Visión táctil: Una nueva forma de reconocimiento espacial mediante la estimulación táctil pasiva en sujetos invidentes.**

#### **Introducción**

Hay estudios que sostienen que el reconocimiento de la información de todos los sentidos, y entre ellos la visión, se da en el cerebro y no solo en los ojos, el cual, opta por realizar asociaciones de forma muy rápida entre los estímulos que le llegan y la información que ya tiene almacenada en la memoria a corto plazo.

Otros estudios afirman que los sujetos invidentes procesan la información recurriendo tanto al código fonémico como al táctil (Braille), coordinándose ambos códigos cuando los ítems presentados son confundibles fonémicamente, mientras que en los videntes, la información se procesa predominantemente en un código basado en el habla.

Distintos estudios indican que existen regiones del cerebro, incluso cuando no hay déficit sensorial, que procesan la información, independientemente de su fuente original, las cuales responden a un objeto específico cuando este es visto o tocado. En este sentido, dichas investigaciones sostienen que las personas videntes pueden imaginar un “objeto de forma simultánea”, mientras que un sujeto invidente, sólo puede representarlo en forma de una huella "motora" mediante la capacidad de reconocimiento táctil activo. Tal reconocimiento táctil activo se produce de forma lenta, mediante sucesivos movimientos asociados a la exploración táctil de un objeto, mientras que el reconocimiento táctil pasivo se realiza de manera rápida, permitiendo enviar al cerebro estímulos en milisegundos de forma global y espacial como lo hace la visión.

El reconocimiento pasivo permite crear una representación mental similar a la visual en cuanto al tiempo, forma y contenido del objeto representado, a diferencia del reconocimiento del objeto mediante el tacto activo, el cual es reconocido de forma incompleta.

Además, distintas investigaciones confirman que el sujeto invidente usa su cuerpo como marco de referencia (basándose en representaciones espaciales egocéntricas) y se centra en su espacio peripersonal, es decir, en la porción de espacio que se puede explorar directamente con su brazo o bastón. En cambio, la estimulación táctil pasiva le permitirá un proceso de información espacial similar al que se utiliza mediante la vía visual y que consigue activar las áreas occipitales. En este sentido, diversas investigaciones confirman que las áreas occipito-parietales y occipito-temporales desarrollan una organización neurofuncional similar en sujetos invidentes y videntes durante la estimulación táctil.

En este contexto, el presente estudio analiza las respuestas conductuales, la organización cerebral y los componentes N200 y N400 de los potenciales evocados, durante el reconocimiento de líneas y letras mediante la estimulación táctil pasiva en niños videntes e invidentes.

## **Objetivos, material y métodos**

El objetivo de la presente tesis consiste en realizar un análisis de las diferencias conductuales entre niños videntes e invidentes en el reconocimiento táctil de letras y líneas, así como la latencia y organización cerebral de los potenciales evocados N200 y N400, mediante la estimulación táctil pasiva. La muestra tomada es de 24 niños videntes y de 23 invidentes, de ambos sexos, cuyas edades están comprendidas entre los 6 y 11 años, con niveles culturales, socioeconómicos e intelectuales similares, en escolaridad activa, con

cociente intelectual (CI) normal. La prueba consistió en la estimulación táctil de líneas y letras, mediante el paradigma Oddball.

Las líneas y letras se representaron en la palma de la mano mediante un estimulador táctil de alrededor de 1000 puntos de estimulación, con un tiempo de presentación de 300 milisegundos y un tiempo de respuesta de 700 milisegundos, del mismo modo que aparecieron en la pantalla del ordenador. Durante la prueba se llevó a cabo un registro de EEG mediante un sistema ATI Vertex Modelo EEG-128, canales (Advantek SRL) de alta densidad y usando un casco Neuroscan. Con los datos obtenidos se analizaron los potenciales evocados N200 y N400, los aciertos y los errores, la latencia y los mapas bioeléctricos, mediante LORETA (Low-Resolution Electromagnetic Tomography).

### **Análisis estadísticos**

Se llevaron a cabo diferentes pruebas estadísticas, una, la prueba T de Student para las variables de latencias, tiempo de reacción, aciertos y errores que se realizaron mediante el programa SPSS versión 22 y otra, la T2 de Hotelling, para el análisis de mapas de actividad eléctrica cerebral.

### **Resultados**

Los resultados conductuales demuestran que los niños invidentes dan respuestas mucho más rápidas, aciertan más y cometen menos errores que las del grupo de niños videntes. Ello podría ser como consecuencia de la experiencia táctil de los invidentes, muy superior a la de los niños videntes en la discriminación táctil de objetos. Por el contrario, las latencias de los potenciales evocados N200 y N400 en el reconocimiento de letras, son más largas en el grupo de niños invidentes, lo que estaría asociado a una dificultad en el reconocimiento de

letras escritas, puesto que ninguno de ellos sabía leer en escritura normal, al contrario de los niños videntes que todos reconocían las letras al tener un buen nivel de lectura.

Los resultados asociados a la localización de fuentes de las ondas N200 y N400 durante el reconocimiento de líneas, manifiestan que el grupo vidente utiliza múltiples áreas temporales posteriores asociadas al reconocimiento de las líneas, mientras que el grupo invidente utiliza áreas parietales, responsables de procesos atencionales de reconocimiento espacial. En cambio, en el reconocimiento de letras, los resultados indican que el grupo vidente utiliza áreas temporales medias asociadas al reconocimiento fonológico y grafémico de letras, mientras que el grupo invidente utiliza áreas parietales asociadas con el reconocimiento táctil.

Con respecto a la asimetría cerebral, un aspecto interesante de estos resultados es la predominancia de la asimetría hemisférica derecha durante el reconocimiento de líneas y letras, tanto en la N200 como la N400, en ambos grupos.

## **Conclusión**

Los niños invidentes manifiestan diferencias significativas con respecto al grupo vidente, con medias inferiores en los tiempos de reacción, mayor número de aciertos y menor número de errores, tanto en lo que respecta a líneas como a letras. Sin embargo, durante el reconocimiento de letras en la onda N400, la latencia es estadísticamente mayor para el mismo grupo invidente, como consecuencia de la falta de conocimiento del lenguaje lector normalizado. Además, encontramos que en ambos grupos se activan áreas del HD, en los niños invidentes se produce actividad parietal asociada al reconocimiento táctil y se amplía al circuito cortical frontal responsable del lenguaje motor, mientras que en los niños videntes se activan áreas responsables del lenguaje comprensivo.

## **SUMMARY**

### **Touch vision: A new form of spatial recognition by passive tactile stimulation in blind subjects.**

#### **Introduction**

Some studies argue that recognition of information from all the senses, and including vision, occurs in the brain and not only in the eyes, which choose to make associations very quickly between the stimuli that it receives and the information that is already stored in a short-term memory.

Other studies claim that blind subjects processes information using both, the phonemic code as the touch code (Braille), coordinating both codes when the issues raised are confusingly similar phonetically, while in the seers, the information is processed predominantly in a code based on speech.

Several studies indicates that there are regions of the brain, even when there is no sensory déficit, that processes information, regardless of its original source, which responds to a specific object when it is seen or touched. In this sense, such researches argue that the seer people can imagine an “object simultaneously”, while a blind subject, can only represent it as a "motorized" footprint, through the ability for active tactile recognition. Such active tactile recognition occurs slowly, by the successive movements associated with tactile exploration of an object, while the passive tactile recognition is done quickly, allowing to send stimuli to the brain in milliseconds in a global and spatial way as the vision does.

The passive recognition allows you to create a mental representation similar to visual as to the time, form and content of the object represented, unlike the recognition of the object by active touch, which is recognized incompletely.

In addition, other research confirms that the blind subject uses his body as reference framework (based on egocentric spatial representations) and focuses on its living space, ie, in the portion of space that can be explored directly with its arm or walking stick. Instead, the passive tactile stimulation will allow them a spatial information process similar to that used by the visual pathway, and getting activate occipital areas. In this regard, various research confirms that, the areas occipital-parietal and occipital-temporal, develop a similar neuro-functional organization in blind subjects and seer during tactile stimulation.

In this context, the present study analyzes the behavioral responses, the brain organization and N200 and N400 components of evoked potentials, during recognition of lines and letters by passive tactile stimulation in both blind and seer children.

### **Objectives, materials and methods.**

The aim of this thesis is an analysis of the behavioral differences between seer and blind children in the tactile recognition of letters and lines, as well as latency, and brain organization of the evoked potentials N200 and N400, by passive tactile stimulation. The sample we took is 24 sighted children and 23 blind children of both genders, whose ages are between 6 and 11 years, with similar cultural, socioeconomic and intellectual levels, in active schooling, with normal intelligence quotient (IQ). The test consists of tactile stimulation of lines and letters, by the Oddball paradigm.

Lines and letters were represented in the palm of the hand using a tactile stimulator of around 1000 stimulation points, with a presentation time of 300 milliseconds and a response time of 700 milliseconds, the same way that appeared on the computer screen. During the test it was carried out a record EEG by an ATI Vertex system, Model EEG-128, channels (Advantek SRL) of high density and wearing a Neuroscan helmet. With the data obtained there were analyzed the evoked potentials N200 and N400, the successes and mistakes,

latency and bioelectric maps, by 'LORETA' system (Low-Resolution Electromagnetic Tomography).

### **Statistical analysis**

Have been made, different statistical tests, one, the Student T test for variables latencies, reaction time, successes and failures was performed using SPSS version 22 and over, Hotelling T2, for the analysis of brain electrical activity mapping program.

### **Results**

The behavioral results demonstrate that blind children get much faster responses, guess right more and make fewer mistakes than the group of the seer children. This could be due to the tactile experience of those blind, far superior to that of seer children in the tactile discrimination of objects. Conversely, latencies of the evoked potentials N200 and N400 in letter recognition, are longer in the group of blind children, which would be associated with the difficulty in recognizing written letters, since none of them could read normal writing, unlike seer children, which all recognize letters by having a good level of reading.

The results associated with sources localization of N200 and N400 waves during the lines recognition, states that the seer group uses multiple subsequent temporal areas associated with the recognition of lines, while the blind group uses parietal areas, responsible for the attention processes of spatial recognition. Instead, at letter recognition, the results indicate that the seer group uses medial temporal areas associated with phonological and graphological recognition of letters, while the blind group uses parietal areas associated with the tactile recognition.

Regarding to brain asymmetry, an interesting aspect of these results is the predominance of right hemispheric asymmetry during recognition of lines and letters both in the N200 group as in the N400.

## **Conclusion**

Blind children shows significant differences from the seer group, with lower averages in reaction times, highest number of correct answers and fewer errors, both as regards lines as letters. However, during the recognition of letters on the N400 wave, latency is statistically higher for the same blind group, as a result of the lack of knowledge of the standardized reader language. In addition, we found that in both groups, right hemisphere areas are activated. In blind children the parietal activity occurs, associated with the tactile recognition and expands to the frontal cortical circuit, responsible of the language for mobility, while in seer children the areas responsible of comprehensive language are activated.

# 1.- INTRODUCCIÓN

## 1.1.- Aspectos generales

La ceguera, entendida como discapacidad visual, es un problema prevalente en el mundo desde hace miles de años. En el Antiguo Egipto se describe cómo las personas ciegas se dedicaban a la mendicidad o a la música y no es hasta el período de la Grecia Clásica donde Dirimo de Alejandría (311-358 d.C.) elaboró el primer intento de lectura a través del tacto, creando una serie de letras en relieve con piezas de marfil (Kirtley, 1975).

Según la Organización Mundial de la Salud (*OMS; ceguera y discapacidad, 2014*), hay unos 285 millones de personas a nivel mundial que padecen algún grado de discapacidad visual por diversas causas, y se estima que hoy en día 39 millones están invidentes y en torno a 160 millones padecen discapacidad visual grave (< 5% de visión), siendo en los países en vías de desarrollo las causas perinatales e infecciosas las más importantes, mientras que la diabetes y los traumatismos oculares graves son las etiologías más relevantes en los países más desarrollados.

Según la clasificación internacional de enfermedades (*Anexo: CIE-10 Capítulo VII: Enfermedades del ojo y sus anexos, actualización y revisión 2013*), encontramos que la función visual se subdivide en cuatro niveles: visión normal, discapacidad visual moderada, discapacidad visual grave y ceguera. La mayoría de las causas de ceguera hoy por hoy siguen sin tener solución, ni desde el punto de vista médico ni del biotecnológico, por lo que la mayor parte de los invidentes siguen valiéndose del bastón y del perro lazarillo para adaptarse a la carencia de información espacial. El bastón, como elemento de ayuda más frecuentemente utilizado en las actividades de la vida diaria de los invidentes, resulta insuficiente ya que solo sirve de guía. El perro implica una gran dependencia de otro ser vivo que, además, precisa de un entrenamiento muy difícil y costoso y que tampoco cubre todas

las necesidades. En los últimos años se han desarrollado equipos tecnológicos experimentales que transforman información visual (o espacial) tanto en señales táctiles, como auditivas. Algunos de ellos, como Paul Bach-y-Rita (1969, 1998, 2003), utilizaron dispositivos táctiles y linguales sobre los que aplicar un estímulo que los invidentes pudiesen interpretar posteriormente, aunque dichos dispositivos presentaron numerosos problemas y no fueron bien recibidos por la comunidad de invidentes.

Disponer de información espacial es obviamente clave para los invidentes, pues en sus entornos habituales, tales como el hogar o el laboral, suelen encontrarse con verdaderos impedimentos que les predisponen a sufrir accidentes y, en entornos abiertos o urbanos, diversos obstáculos representan problemas a los que tienen que hacer frente diariamente.

El uso de la estimulación táctil pasiva por parte del sujeto invidente podría dar una respuesta social a este tipo de problemas. En esta línea, recientes estudios (Ortiz y col., 2011, 2015) han demostrado la eficacia de la misma en el reconocimiento del entorno a un metro de distancia, e incluso algunos invidentes han llegado a tener qualia visual.

A raíz de estos y de otros estudios, la pregunta que se nos plantea es si una persona ciega puede realmente ver. Este binomio suena como imposible y paradójico, pero se debe a que existe una creencia generalizada que determina que la visión consiste estrictamente en el concepto literal de ver con los ojos. Sin embargo, no se tiene en cuenta que los ojos son solo el resquicio de nuestro cuerpo a través del que pasan los estímulos visuales que nos rodean, y que el proceso mediante el cual hacemos lo que llamamos “ver” se produce en nuestro cerebro.

De acuerdo con esta teoría, algunos investigadores sostienen que la visión se da en el cerebro, mediante la recolección de información de todos los sentidos y no solo en los ojos (Bach y Rita, 1969; Colignon y col., 2015). Nuestro cerebro opta por algo más eficiente

como es realizar asociaciones de forma muy rápida entre los estímulos que le llegan y la información que tiene previamente almacenada en la memoria a corto plazo. De hecho, otros autores comprobaron que las personas invidentes destacan en la memorización de series de ítems, independientemente de qué posición ocupen en la serie, concluyendo que con la ausencia de visión, el mundo se experimenta como una secuencia de acontecimientos por el uso constante de estrategias de memoria en serie en las tareas del día a día, y fruto de esta práctica, desarrollan una destreza superior en las tareas de memorización (Roder y Rosler, 2003).

Los invidentes procesan la información recurriendo tanto al código fonémico como al táctil (Raz y cols., 2007), coordinándose ambos códigos cuando los ítems presentados son confundibles fonémicamente, mientras que, en los videntes, la información se procesa predominantemente en un código basado en el habla (Fernández y cols., 1988).

En este sentido, si se le preguntara al cerebro de una persona invidente si puede ver, por lo menos, cuando concebimos "ver" como la capacidad de generar representaciones mentales internas del medio ambiente utilizando la información percibida, y confiando en el conocimiento semántico conceptual, su respuesta sería positiva, pues aun careciendo de información visual, su "cerebro visual" está a salvo, puesto que es capaz de extraer la forma de un objeto tocándolo, así como también puede identificar y localizar a una persona que le esté hablando a través de escuchar su voz, de un modo casi análogo a la información que recibiría a través de la visión.

De hecho, hay regiones del cerebro que, incluso cuando no hay déficit sensorial, procesan información, independientemente de su fuente original y sensorial, respondiendo a un objeto específico cuando éste está bien visto o tocado (Pietrini y cols., 2004). Por supuesto, uno puede objetar que las representaciones mentales de los individuos invidentes no son comparables a las de los videntes, de modo que, por ejemplo, mientras que las

personas videntes pueden imaginar un “objeto de forma simultánea” en su mente, una persona ciega sólo puede representarlo en forma de una huella "motor" mediante la capacidad de reconocimiento táctil activo, donde refleja los sucesivos movimientos asociados a la exploración táctil de un objeto (De Beni y Cornoldi, 1988) y en relación al espacio, los invidentes tienden a usar su cuerpo como un marco de referencia (basándose principalmente en las representaciones espaciales egocéntricas) y se centran en su espacio peripersonal, es decir, en la porción de espacio que se puede explorar directamente con su brazo o bastón largo (Cornoldi y cols., 1993).

El reconocimiento táctil pasivo mediante el sistema utilizado por Ortiz y cols. (2011, 2015) permitirá una representación mental similar a la visual en cuanto al tiempo, forma y probablemente contenido del objeto representado. En ese sentido, partimos de la hipótesis de que no percibimos con los ojos, sino con el cerebro, y la forma de acceder a la corteza visual mediante el mismo sistema que la visión, es a través de otros sentidos, como es el tacto pasivo. La estimulación mediante el tacto pasivo permite enviar al cerebro estímulos en milisegundos de forma global y espacial al igual que lo hace la visión. La estimulación táctil pasiva de forma regular incrementa la activación de un mayor número de conexiones sinápticas (neuroplasticidad) duraderas en áreas corticales posteriores en sujetos con ceguera. Asumiendo que la falta de estimulación, lógicamente conlleva un déficit, consecuencia de la hipofuncionalidad cerebral, en el caso de los sujetos invidentes dicho déficit debería estar más acentuado en el lóbulo occipital responsable de la visión humana.

Concluyendo, pues, la estimulación táctil pasiva permite un procesamiento de información espacial muy similar al que se utiliza mediante la vía visual y consigue llegar a activar áreas occipitales.

## **1.2.- Neuroplasticidad cerebral mediante estimulación táctil**

La neuroplasticidad es un proceso mediante el cual las neuronas consiguen aumentar sus conexiones con otras neuronas y hacerlas estables, como consecuencia de la experiencia, el aprendizaje o la estimulación sensorial/cognitiva. Uno de los primeros en intuirlo fue Ramón y Cajal (1894 a, b, 1899) quien hace más de cien años ya sostenía que *“la adquisición de nuevas habilidades requiere muchos años de práctica mental y física. Para entender plenamente este complejo fenómeno se hace necesario admitir, además del refuerzo de vías orgánicas preestablecidas, la formación de vías nuevas por ramificación y crecimiento progresivo de la arborización dendrítica y terminales nerviosas”*.

En esta línea de pensamiento Pascual-Leone y cols. (2005) consideran que la plasticidad neuronal solamente se puede llevar a cabo a partir del refuerzo de las conexiones preexistentes. Hebb (1949), por otro lado, considera que la plasticidad neuronal se lleva a cabo de forma muy local mediante la experiencia de patrones de estimulación repetitiva a través de las vías somato-sensoriales, mientras que otros, como Feldman y Brecht (2005), sugieren que la plasticidad neuronal ocurre en muchos sitios del cerebro generando diferentes circuitos con múltiples mecanismos sinápticos como consecuencia de diferentes formas de aprendizaje (Siuda-Krzywicka y cols., 2016). Esto permitiría expandir la plasticidad neuronal desde áreas somato-sensoriales primarias, por ejemplo el tacto, hacia áreas corticales secundarias y terciarias responsables de los procesos cognitivos, por ejemplo el reconocimiento de letras mediante el tacto.

La eficacia de la estimulación en la inducción de la plasticidad cerebral ha sido demostrada y replicada por varios grupos. Se sabe que la actividad regular y sistemática, así como un ambiente enriquecido y psicológicamente adecuado, estimula tanto las conexiones interneuronales como el desarrollo de nuevas células nerviosas, sobre todo en el hipocampo

(Van Praag y cols., 1999; Greenwood y Parent, 2002; Gheusi y Rochefort, 2002), tanto en adolescentes como en adultos (Mahncke y cols., 2006).

En nuestra línea de trabajo de esta tesis, numerosas investigaciones han demostrado que la estimulación táctil regular permite un mayor número de conexiones sinápticas en áreas corticales posteriores en sujetos con discapacidad visual, debido a la similitud de las neuronas táctiles con las visuales o auditivas. De hecho, las neuronas táctiles tienen una gran capacidad de recuerdo después de un tiempo de estimulación (Harris y cols., 2002), adquieren un alto grado de eficacia para determinar la posición y la morfología de los objetos (Wheat y cols., 1995), manifiestan una gran capacidad de asociación de diferentes modalidades de estimulación (Amedi y cols., 2007; Swisher y cols., 2007), siendo capaces de la modulación de la información táctil (Haggard y cols., 2007), muy sensibles a la orientación y localización de objetos (Van Erp, 2007, 2008; Jones, 2011), así como a la permanencia en el tiempo del proceso de aprendizaje (Ortiz y cols., 2014).

Todo esto nos lleva a entender que la estimulación táctil permite un desarrollo cerebral basado en la capacidad plástica de estas neuronas. Un aspecto importante en la neuroplasticidad en sujetos invidentes es la edad, puesto que la neuroplasticidad crossmodal reduce su capacidad drásticamente a partir de la adolescencia (Cohen y cols., 1997,1999), sobre todo en áreas occipitales (Sadato y cols., 2002).

El inicio de la ceguera es importante en el proceso de neuroplasticidad crossmodal puesto que puede limitar la activación y la conectividad cerebral occipital como sucede en invidentes tardíos (Wittenberg y cols., 2004; Sani y cols., 2010; Collignon y cols., 2013). En esta línea, se ha podido demostrar que los cambios en la plasticidad neuronal son más consistentes cuando la ceguera se ha producido en una época temprana en la vida. La crossmodalidad a través de la estimulación táctil es capaz de activar áreas cerebrales visuales que hace al cerebro otorgar un output (p. ej. visual) en una modalidad sensorial

distinta de la modalidad de input (p. ej. en nuestro caso, táctil). Un ejemplo de esta crossmodalidad es el estudio realizado por Burton y cols. (2002), donde comprobaron que la lectura Braille indujo respuestas bilaterales en la corteza visual de sujetos invidentes tempranos, mientras que la mayoría de los sujetos invidentes tardíos mostraron respuestas solamente ipsilaterales en la corteza occipital inferior.

Por otro lado, también se encontró mayor actividad de la corteza visual en el grupo de invidentes de inicio temprano que en el grupo de invidentes de inicio tardío durante la estimulación vibrotáctil (Burton y cols., 2004). En esta línea, otros trabajos han demostrado disminución de la actividad en cortezas visuales asociativas en función del inicio de aparición de la ceguera (Burton y cols., 2002, 2003,2012; Leo y cols., 2012). Un estudio llevado a cabo por Voss y cols. (2008) demostró que los invidentes tardíos mostraban mayor actividad en áreas visuales ventrales de la corteza occipito-temporal, que los invidentes tempranos que presentaban una activación mayor en estriado y corteza extraestriada.

A la vista de estos datos podríamos decir que, mientras que la activación occipital en el invidente temprano parece reflejar plasticidad crossmodal "pura", la activación occipito-temporal en individuos invidentes tardíos puede ser el resultado de la mediación de imágenes visuales adquiridas antes de la ceguera. Gougoux y cols. (2005,2009) encontraron diferencias en la activación cerebral entre invidentes tempranos y tardíos, con mayor activación en el surco temporal superior izquierdo en el grupo de invidentes congénitos en comparación con los videntes y el grupo de invidentes tardíos.

El cerebro tiene una extraordinaria capacidad para reorganizarse en respuesta a las variables externas, como la calidad de la experiencia sensorial disponible o el grado en que una actividad específica actúa, y puede ocurrir en diferentes niveles organizativos o de conectividad del sistema nervioso central, bien ya sea el resultado de un desenmascaramiento de conexiones previamente silenciosas y/o de la aparición de nuevos elementos neuronales a

partir de las que existían anteriormente. De hecho, la conectividad entre las diferentes regiones del cerebro puede arrojar luz sobre las vías neurales que median en los cambios funcionales en la corteza occipital de individuos invidentes (Stilla y Sathian, 2008; Fujii y cols., 2009; Roder y Wallace, 2010; Viski y cols., 2016), lo que nos permite considerar las específicas contribuciones de ambas conexiones tálamo-corticales y córtico-cortical (Bavelier y Neville, 2002).

La plasticidad crossmodal ha sido un hallazgo importante que nos ha permitido observar cómo sujetos invidentes pueden activar las mismas áreas occipitales que los sujetos videntes mediante estimulación táctil. Este proceso ocurre cuando las áreas normalmente dedicadas al procesamiento de la información visual son reclutadas para procesar entradas táctiles o auditivas (Grafman, 2000; Sathian y Stilla, 2010; Kupers y cols., 2011), lo cual no solamente ocurre durante la estimulación táctil activa sino también durante la estimulación táctil pasiva (Burton y cols., 2004; Stilla y Sathian, 2008).

Diferentes trabajos utilizando el EEG han demostrado la activación de áreas occipitales mediante estimulación táctil (Uhl y cols., 1991, 1993; Ortiz y cols., 2011, 2015). Hamilton y cols. (2000), en un estudio de caso único con infarto de la corteza occipital de una mujer ciega, comprobó que existía alexia bilateral de la lectura Braille; esta mujer era congénitamente ciega y aprendió Braille cuando tenía seis años de edad; a la edad de sesenta y tres años, sufrió accidentes cerebrovasculares isquémicos occipitales bilaterales, después de estos episodios, ella todavía era capaz de detectar estímulos táctiles sin ninguna pérdida relevante en su sensibilidad táctil y, sin embargo, fue incapaz de reconocer caracteres Braille.

Los períodos de estimulación de tiempos cortos también han demostrado los procesos de reorganización cerebral, tanto es así que hay evidencia de que los fenómenos de reorganización crossmodal pueden inducirse con minutos, horas o muy pocos días de

inactividad visual y/o actividad táctil (Boroojerdi y cols., 2000; Facchini y Aglioti, 2003; Merabet y cols., 2008).

Un proceso neurofuncional muy común en la neuroplasticidad crossmodal mediante estimulación táctil, es la activación occipital ante estímulos auditivos o táctiles, tanto en sujetos invidentes de nacimiento, de inicio temprano o tardío (Gougoux y cols., 2009). De hecho, se ha comprobado que el córtex visual de invidentes congénitos manifiesta grandes cambios tanto en la sustancia gris como en la sustancia blanca con reducciones de hasta un 25 % en estructuras estriadas y extra-estriadas, incluyendo el lóbulo temporal medial, siendo estas estructuras corticales las encargadas de responder a estímulos no visuales en sujetos invidentes (Noppeney, 2007; Ptito y cols., 2008). Uno de los motivos por lo que dichas estructuras se mantienen activas aunque con grandes reducciones de sustancia gris y blanca es por la falta de actividad a lo largo del tiempo. En esta línea de trabajo Leporé y cols. (2010) han encontrado déficits importantes en la estructura de las cortezas visuales primarias (Área de Brodmann 17) y secundarias (Áreas de Brodmann 18 y 19) tanto en invidentes de inicio temprano como tardío, pero con mayor decremento en invidentes de inicio temprano (De Volder y cols., 1997; Ptito y cols., 2009).

Al margen de estos hallazgos neurometabólicos y neuromorfológicos, parece claro que las áreas occipito-parietales y occipito-temporales desarrollan una organización neurofuncional similar en sujetos invidentes y videntes durante la estimulación táctil (Ptito y cols., 2001; Ptito y Kupers, 2005; Cattaneo y cols., 2008; Pietrini y cols., 2009). En esta línea de trabajo Ortiz y cols. (2011) llevaron a cabo un estudio en el que participaron 12 adultos con ceguera y 12 controles videntes y encontraron una reorganización cortical alrededor de los 100 milisegundos (P100) como consecuencia de la eficacia de la estimulación táctil pasiva. En esta misma línea de trabajo y en otro estudio posterior Ortiz y cols. (2015) realizó un estudio con 24 niños (12 invidentes y 12 controles videntes) con edades comprendidas entre 7 y 11 años, a los que se les estimuló la palma de la mano durante el reconocimiento de

líneas y letras. Los resultados acreditaron que los niños invidentes daban las respuestas en un tiempo mucho más corto y demostraron una mayor activación (en comparación con los niños videntes) en estructuras cerebrales occipitales, frontal inferior y corteza temporal medial. Las diferencias corticales entre el grupo de niños videntes y el grupo de niños invidentes durante discriminación táctil de líneas y letras encontradas, estaban asociadas con una mayor activación de la vía visual (occipital) y la asociación de tareas relacionadas con las áreas (temporal y frontal) en el grupo de niños invidentes.

El aprendizaje escolar y la neuroplasticidad cerebral durante largos períodos de entrenamiento ha sido nuestro objeto de estudio y ha sido llevado a cabo con la finalidad de entender el efecto de la estimulación táctil a largo plazo, la capacidad de aprendizaje, la neuroplasticidad cerebral y la diferenciación de dichos procesos entre niños invidentes y niños videntes.

Queda por tanto clara la existencia de procesos de reorganización cerebral mediante la estimulación táctil en sujetos invidentes tanto si la ceguera se produjo en el nacimiento como si apareció en edades tempranas, tardías e incluso, si dicho proceso se ha producido de forma experimental durante pocas horas.

### **1.3.- Qualia visual mediante estimulación táctil pasiva**

La pregunta que cabe plantearse es si realmente una persona ciega puede ver, dado que se estimulan áreas occipitales primarias. Si entendemos que la visión solamente puede ser mediante los ojos, esta cuestión no sería viable, pero si asumimos que la visión va más allá de los ojos y que para ver no solamente necesitamos los ojos sino también la actividad de determinadas estructuras cerebrales sincronizadas, las posibilidades de que un invidente vea son reales.

Las evidencias científicas demuestran la posibilidad de encontrar los sustratos neurobiológicos de los “qualia” visual (sensaciones visuales asociadas a la estimulación táctil) en invidentes mediante diferentes estímulos sensoriales auditivos o táctiles (Orpwood, 2007). En un estudio llevado a cabo por Ortiz y cols., (2011) encontraron que tras estimular táctil y repetitivamente a lo largo de un período de tiempo a sujetos invidentes, éstos consiguieron activar el lóbulo occipital al mismo tiempo que manifestaban una sensación subjetiva de visión o “qualia” visual; por otro lado Matteau y cols. (2010) encontraron actividad en áreas visuales del lóbulo temporal medio mediante percepción del movimiento en la lengua en sujetos invidentes y videntes, lo que nos lleva a pensar en la organización supramodal de este tipo de estructuras posteriores corticales. En esta misma línea de trabajo Fujii y cols. (2009) demostraron gran conectividad en áreas visuales en sujetos invidentes durante la discriminación táctil de Braille (Lewis y cols., 2010).

La activación de áreas occipitales sí es congruente con los *qualia* visuales, o, dicho de otra manera, la activación de dichas áreas va a generar sensaciones visuales. Aunque hoy día no se tiene certeza absoluta, es muy posible que el cerebro humano tenga una serie de circuitos, que involucran varias áreas, para el procesamiento de la información espacial, siendo la corteza visual la parte integrante fundamental para dicho procesamiento. Es importante decir a este respecto que los invidentes que desarrollan *qualia* visual tienen una pequeña ventaja sobre aquellos que no, al cometer menos errores y al hacerlo de forma mucho más segura. Estos resultados podrían deberse a que la falta de experiencia visual a menudo puede retrasar el desarrollo fisiológico y funcional en individuos invidentes como consecuencia de la modulación de estrategias cognitivas y de la falta de una mayor interacción social (Peterson y cols., 2000; Noordzij y cols., 2007; Cattaneo y cols., 2008; Pasqualotto y cols., 2013), aunque estudios llevados a cabo con individuos que presentaban ceguera congénita muestran habilidades cognitivas y sociales comparables a los de los individuos videntes (Cattaneo y cols., 2008; Pasqualotto y cols., 2013, 2014; Ricciardi y

cols., 2009, 2010, 2011 , 2014; Klinge y cols., 2010;Bedny y cols., 2009, y Proulx y col., 2014).

Finalmente ha de subrayarse el hecho de que en ningún momento estamos utilizando la vía visual (a través de los ojos, o de las conexiones que al principio éstos mandan al cerebro), sino cortocircuitando esa vía a través de otra vía natural que es el tacto. Así pues, el córtex visual en este grupo de invidentes con sensaciones visuales juega un rol crucial tanto para la realización de la tarea táctil como para la existencia de los “qualia visual”.

Con el fin de confirmar la sincronización cerebral occipital con la respuesta conductual de qualia visual, Ortiz y cols. (2014) llevaron a cabo un estudio con un sujeto invidente varón de 50 años con pérdida de más del 97% de la visión, que sufre de anomalía de Peter (una rara patología congénita del segmento anterior del ojo caracteriza por una opacidad corneal central, adelgazamiento del estroma y ausencia de membrana de Descemet, asociada a una microftalmia, que solamente le permite diferenciar luz de oscuridad), y que fue estimulado en repetidas ocasiones en la mano izquierda con el programa de estimulación táctil pasiva repetitiva durante un período de tres meses y sesiones diarias durante cinco días a la semana (lunes a viernes) de una hora de duración. Los resultados mostraron una gran actividad en las áreas occipitales después de mucho tiempo de estimulación táctil pasiva e incluso después de tres meses sin estimulación táctil se comprobó plasticidad neuronal estable. El análisis de la actividad bioeléctrica de los potenciales evocados asociados a la estimulación táctil alrededor de los 100 milisegundos pone de manifiesto la implicación de las áreas occipitales. De hecho, estos autores encontraron que cuando se inhibe temporalmente la actividad del lóbulo occipital momentáneamente mediante estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr) se desactiva el funcionamiento del córtex occipital y se observa que disminuye en un 18% el número de respuestas correctas a los estímulos táctiles, al mismo tiempo que se elimina la “qualia visual”.

La especificidad funcional de la crossmodalidad neuroplástica dentro de las áreas occipitales mediante estimulación táctil es aún objeto de debate, y no se saben todavía los mecanismos neuronales, los circuitos implicados y menos cuando se acompañan sensaciones visuales asociadas a estimulaciones específicas táctiles. La activación occipital en individuos invidentes parece desempeñar un papel fundamental en el procesamiento sensorial a través de una amplia gama de tareas experimentales (por ejemplo, léxico, el procesamiento verbal y fonológica, la discriminación objeto, atención selectiva, memoria verbal y episódica, la localización del sonido) (Zangaladze y cols., 1999; Noppeney, 2007; Amedi y cols., 2007; Kupers y cols., 2007; Roder y Wallace, 2010). Sin embargo, la sincronización de la actividad occipital con la qualia visual mediante estimulación táctil pasiva permanece todavía en la penumbra neurocientífica. Por otro lado, la falta de una identificación precisa de los circuitos y procesos neurofuncionales asociados a este tipo de crossmodalidad táctil occipital deja aún más abierta la cuestión de conocer si las regiones occipitales en individuos invidentes reorganizan de manera específica dicha información o, por el contrario, si la deprivación sensorial de dicha corteza occipital responde a los estímulos no visuales independientemente de su contenido perceptivo (Amedi y cols., 2003; Noppeney y cols., 2003; Gougoux y cols., 2005).

A la vista de estos datos nos queda la cuestión de entender cómo el cerebro de un invidente, cuyo lóbulo occipital está totalmente inactivo a los estímulos visuales externos, se pone en marcha ante estímulos no visuales. Estudios llevados a cabo después de la privación sensorial, tanto en humanos como en animales, demuestran que la corteza visual se reorganiza y adapta a los estímulos no visuales. Dos posibles explicaciones, no confirmadas todavía, pueden arrojar luz a este proceso. En primer lugar, la información táctil pasiva llega a la corteza occipital a través de conexiones cortico-corticales, principalmente a través de conexiones parieto-occipitales (Wittenberg y cols., 2004; Kupers y cols., 2006, 2011; Noppeney, 2007; Ptito y cols., 2008; Pietrini y cols., 2009; Fujii y cols., 2009; Sani y cols.,

2010; Leo y cols., 2012; Collignon y cols., 2013, Ortiz y col, 2015) y en segundo lugar, podría darse una reorganización de conexiones aferenciales talamo-corticales a la corteza occipital de la estimulación no visual (Karlen y cols., 2006; Cowey, 2010; Schmid y cols., 2010; Cooke y Bear, 2014).

La pregunta que queda por dilucidar es cómo organiza el "cerebro visual" del invidente la estimulación táctil y cómo puede generar qualia visual. De hecho, sabemos que el cerebro visual se extiende a regiones estriadas y periestriadas, regiones temporales y parietales durante la estimulación no visual, pero queda pendiente saber cuáles son las áreas implicadas en el cerebro visual del sujeto invidente durante la generación de qualia visual, si es que existe.

#### **1.4.- Organización neurofuncional de la lectura**

##### **1.4.1.- Organización neuroanatómica**

La importancia de la capacidad de leer y la decodificación de símbolos destinada a derivar significado, no puede ser sobreestimada, ya que es posible superar las limitaciones inherentes del unidimensional medio lingüístico, mediante la modificación de los mecanismos cerebrales existentes (Dehaene y cols., 2005, 2010), dando lugar a una extensa exploración del proceso de lectura (Hannagan y cols., 2015).

El proceso de la percepción visual de las palabras comienza en las primeras zonas occipitales (V1) (Rauschecker y cols., 2011; Striem-Amit y cols., 2015), y luego se desplaza hacia una región temporal que ha sido asociada con la lectura de letra por letra y denominada Área Visual para la Forma de la Palabra (VWFA) (Schlaggar y McCandliss, 2007; Dehaene y Cohen, 2011, Sigalov y cols, 2016).

Sin embargo, estos resultados han sido llevados a cabo casi en su totalidad con sujetos videntes, planteándose la cuestión de que si la modalidad visual es necesaria e intrínsecamente ligada a la participación de estas regiones o, si otras modalidades podrían provocar un patrón cortical similar. Los cerebros de las personas con ceguera nos ofrecen una única oportunidad de explorar el proceso de lectura y la forma de reorganización cerebral. Un método de exploración de la lectura en sujetos invidentes se lleva a cabo mediante el uso de Braille, lo que permite el examen de la lectura a través de un contacto utilizando el reconocimiento táctil de la escritura (Burton y cols., 2002; Reich y cols., 2011; Siuda-Krzywicka y cols., 2016). No obstante, este sistema de tacto activo necesita mucho tiempo para poder completar la letra o palabra puesto que va de los detalles a la totalidad de la letra o palabra; por lo tanto, una pregunta importante es cómo los sujetos invidentes pueden reconocer globalmente y de forma instantánea la totalidad de la letra o palabra. Para poder contestar a esta pregunta necesitamos de la participación del tacto pasivo y del reconocimiento simultáneo de la totalidad de la letra o palabra (Ortiz y cols., 2015).

En los sujetos invidentes el cerebro se reorganiza de otra forma al procesar la información sin la vía visual, lo que conlleva una readaptación y reorganización de circuitos cerebrales. En este sentido, numerosos estudios sostienen que la corteza occipital de los individuos invidentes necesita adaptarse a facilitar las funciones lingüísticas (Sadato y cols., 1996; Hamilton y Pascual-Leone, 1998; Hamilton y cols., 2000; Burton y cols., 2002a; Sadato y cols., 2002; Burton, 2003; Burton y cols., 2006), las habilidades de la memoria de trabajo verbal (Roder y cols., 2002; Amedi y cols., 2003), el reconocimiento de objetos táctil (Pietrini y cols., 2004), el procesamiento de forma del objeto (Amedi y cols., 2007), la localización del sonido (Gougoux y cols., 2005) y el movimiento de procesamiento de señales acústicas artificiales (tonales) (Poirier y cols., 2006).

Con respecto a ello, Sadato y cols. (1996) utilizando técnicas de neuroimagen, confirmaron que la corteza visual de los invidentes se activaba cuando leían en Braille. Este gran hallazgo reveló que una zona del cerebro predeterminada en principio para procesar material visual, lejos de quedarse inútil, se reestructuraba en un prodigio de plasticidad para procesar información relacionada con el sentido del tacto (Pishnamazi y cols., 2016).

Estudios posteriores, utilizando la tomografía de emisión de positrones (Burton y cols., 2002a, 2002b; Roder y cols., 2002; Amedi, 2001,2003; Raz y cols., 2007; Bedny, 2012), han demostrado que la activación de la corteza visual en los sujetos invidentes congénitos también se activa cuando se realizan tareas de procesamiento lingüístico y de memoria verbal. Por un lado, la corteza occipital de los invidentes se ha implicado en varias tareas lingüísticas clave, como la memoria verbal de las palabras individuales, el procesamiento del habla, procesamiento semántico y procesamiento sintáctico (Sadato y cols., 1996, 1998.; Cohen y cols., 1997; Hamilton y cols., 2000;Amedi y cols., 2003; Burton y cols., 2002a, 2002b.; Roder y cols., 2002; Reich y cols., 2011; Striem-Amit y cols., 2012a;Bedny y cols., 2012). En este sentido, se han encontrado áreas occipitales incluyendo áreas V1 y de nivel superior incluyendo VWFA implicadas en las tareas de memoria verbal y lingüísticas en la ceguera congénita (Roder y cols., 2002; Amedi y cols., 2003, 2004; Bedny y cols., 2011,2012,). En esta línea de trabajo Silagov y cols. (2016) encontraron activación temprana en áreas visuales y auditivas primarias en el procesamiento de letras y tardía en la VWFA así como en zonas bilaterales dorso-intraparietales durante el procesamiento de palabras. El hecho de que se activen estructuras cerebrales auditivas (Maidenbaum y cols., 2016), podría venir determinado porque los sujetos invidentes necesitan confiar en el sentido del oído para recibir información, lo que conlleva capacidades auditivas mejoradas o, al menos, más entrenadas para procesar la información entrante. Diversas investigaciones (Hamilton y cols., 2004) han señalado que en el cerebro de los invidentes se observa una

mayor área sensible a los estímulos auditivos, lo que se traduce en ventajas funcionales para procesar, recordar y reproducir los sonidos. (Hillyard y cols., 2016).

Estos resultados nos permiten entender el proceso de crossmodalidad que se produce en sujetos invidentes al encontrar cómo una vía diferente a la vía visual es capaz de activar áreas visuales primarias como una forma de compensación por la falta del input visual (Cohen y cols., 1997; Roder y cols., 2002; Ortiz y cols.; 2011; Hillyard y cols.; 2016), aunque tenemos que tener presente que la activación occipital depende también del inicio de la ceguera de tal forma que invidentes tempranos o de nacimiento son capaces de activar el lóbulo occipital en ausencia de estímulos visuales, mientras que no sucede lo mismo en los invidentes tardíos, lo que podría justificar la importancia de los tiempos críticos en los procesos de neuroplasticidad y reorganización cerebral (Bedny y cols., 2011).

No obstante lo dicho, existen muchas otras áreas cerebrales que permanecen activas de forma constante, independientemente del sistema de entrada de la información, dando lugar a una neuroplasticidad crossmodal independiente del sistema sensorial específico de entrada de la información como en el caso de la lectura Braille (Reich y cols., 2011), de lectura de letras o lectura de números (Striem-Amit y cols., 2012<sup>a</sup>. 2014; Ortiz y cols., 2015). En esta línea, investigadores como Amedi y cols. (2003) sostienen que es frecuente el procesamiento cerebral multimodal de la información espacial cuando los canales visual y auditivo están defectuosos o sobrecargados, la información táctil puede ser utilizada para suministrar los datos pertinentes (Ponton y cols., 1996; Collignon y cols., 2007; Amedi y cols., 2010). En concreto, la corteza occipital lateral (LOC), un área que inicialmente se pensaba como específica en el reconocimiento visual de objetos, pero que también se han activado por reconocimiento táctil (Desmedt y cols., 1983; Collignon y cols., 2006; Wimmer y cols., 2010; Gordon y cols., 2011; Ortiz y cols., 2011; Tal y cols., 2016). Por lo tanto esta

área es un ejemplo de procesamiento cerebral multimodal de la información espacial (Amedi y cols., 2001; James y cols., 2002; Zhang y cols., 2004; Sathian y Stilla, 2010).

De los estudios que se han llevado a cabo con sujetos invidentes se deduce que la falta de una modalidad sensorial como es la visión, da lugar a dos fenómenos neurobiológicos importantes, por un lado se comprueba una crossmodalidad que permite activar áreas corticales diferentes a la modalidad sensorial estimular y por otra se comprueba una reorganización de los circuitos cerebrales diferentes a los sujetos videntes.

#### **1.4.2.- Potenciales evocados**

Los potenciales evocados relacionados con el acontecimiento (PE) (del inglés event-related potentials) consisten en la suma de potenciales postsinápticos generados por grandes poblaciones de neuronas que reflejan la actividad eléctrica del cerebro, relacionada sincrónicamente con la presentación de un estímulo externo (Coles y Rugg, 1995). Sin embargo, esta actividad eléctrica es de pequeña amplitud y, además, se superpone a la actividad eléctrica espontánea; por ello, para obtener una señal libre de ruido, será necesario calcular la actividad eléctrica promedio de múltiples presentaciones del tipo de estímulo/evento que queremos estudiar (Martín-Loeches, 2001).

La alta resolución temporal de esta técnica la convierte en una valiosa herramienta en el estudio del procesamiento lingüístico, ya que nos proporciona índices de la actividad cerebral obtenidos de manera simultánea a dicho procesamiento. La onda que describen los PE suele estudiarse subdividiéndola en distintos componentes, según su polaridad y su latencia, aunque también su funcionalidad y su distribución craneal suelen contribuir a su denominación e identificación. Podemos distinguir entre los componentes exógenos, relacionados con las características físicas del estímulo, y los componentes endógenos, relacionados con las operaciones cognitivas que se dan ante la presentación del mismo. Los

primeros también suelen denominarse componentes tempranos, ya que se dan antes de los 100 ms, y los segundos, componentes tardíos, pues aparecen a partir de los 100 ms. (Carretié e Iglesias, 1995; Eggermont y Ponton, 2002).

La técnica de registro de la actividad eléctrica cerebral mediante PE se ha mostrado útil como instrumento de evaluación de la función neurocognitiva, ya que permite acceder al estudio, en tiempo real, de los mecanismos cerebrales implicados en los procesos cognitivos de forma directa y no invasiva para los sujetos (Coles y Rugg, 1995; Kutas y Federmeier, 2000). En este sentido, ofrece ventajas con respecto a las medidas conductuales, ya que proporciona una medida continua del procesamiento de la información, desde que se presenta la estimulación hasta que el sujeto ejecuta una respuesta (Mangun, 1995).

Los PE son procedimientos neurofisiológicos más sensibles que específicos, objetivos, fidedignos, reproducibles y sin riesgo para el paciente, empleados para evaluar la integridad de las vías sensoriales y motoras. Las ondas de PE consisten en una secuencia de picos de voltaje positivo y negativo denominados componentes. Cada componente puede caracterizarse mediante tres parámetros cuantitativos: amplitud, latencia y distribución sobre el cuero cabelludo; que aportan respectivamente información sobre la magnitud de la activación neural, el inicio y curso temporal de dicha activación como el gradiente de voltaje o patrón de activación cerebral en un momento temporal determinado. Este último parámetro suele utilizarse para caracterizar los patrones neurales de los procesos cognitivos y para inferir las estructuras anatómicas subyacentes a un componente concreto (Kutas y Dale, 1997).

El procedimiento consiste en registrar mediante electrodos cutáneos, promediar digitalmente, mostrar en un osciloscopio de rayos catódicos, almacenar digitalmente e imprimir en papel los potenciales evocados por estímulos específicos para cada vía estudiada por duplicado (Rugg y cols., 1990; Kutas y Van Petten, 1994).

Los denominados PE son útiles para investigar la temporalidad y las diferencias cualitativas del procesamiento lingüístico (Friederici, 2005; Ganushchak y cols., 2011) y también para estudiar la relación entre lenguaje y actividad cerebral incluyendo la adquisición de la lengua materna o nativa (Brown y cols., 2000; Picton y cols., 2000).

Los PE son marcadores específicos de la activación neuronal subyacente a diferentes tareas cognitivas principalmente relacionadas con procesos de atención, selección y memoria de trabajo, así como con procesos de decisión o clausura cognitiva (Kutas y Hillyard, 1984; Hillyard y cols., 1987). Los PE más relacionados con el lenguaje han sido los componentes N200 y N400. El componente N200 está más asociado a procesos prelingüísticos mientras que el N400 lo estaría en relación con procesos cognitivos asociados al lenguaje (Ortells y cols., 2016).

#### **1.4.2.1.-Componente N200 de los PE**

La latencia de los potenciales evocados está asociada con la capacidad en el procesamiento cerebral de la información sensorial. La onda N200 está asociada con el cambio de funciones del entorno de estímulo y ha sido interpretado como una etapa de filtrado automático para la atención selectiva. En este sentido, estudios más recientes le han otorgado un papel fundamental al componente N200 en la búsqueda visual y en la atención visual selectiva (Eimer, 1996; Luck y cols., 1997a; Girelli y Luck, 1997; Luck y Ford, 1998 ; Woodman y Luck, 1999; Luck y cols., 2000; Woodman y cols., 2003), reflejando la focalización de la atención en la localización ocupada por un estímulo visual cuando aparece rodeado de distractores presentados de forma simultánea en el campo visual, observándose dos procesos cognitivos específicos (selección de respuesta y de control ejecutivo), ambos relacionados con la inhibición de la respuesta y el control de impulsos (Luck y cols., 1994; Luck y Hillyard, 1994).

En relación a ello, algunos estudios llevados a cabo mediante el registro directo de la actividad eléctrica de unidades neuronales en áreas del córtex visual extraestriado y temporal inferior de primates no humanos (macacos), han encontrado un efecto atencional que ha sido recientemente relacionado con el componente N200 de los PE registrado en humanos (Luck y cols., 1997b; Chelazzi y cols., 1998,2001). En este sentido, se ha observado que el componente N200 humano y la actividad obtenida en registros unicelulares en macacos durante la realización de tareas de selección atencional, presentan un curso temporal similar (ambos efectos aparecen aproximadamente 175 ms tras la presentación del estímulo), y experimentan variaciones de amplitud moduladas por los mismos factores (Luck y cols., 1997b; Chelazzi y cols., 1998, 2001; Picton y cols., 2000), de tal manera que los resultados que se obtuvieron fueron consistentes con los modelos de búsqueda guiada en los cuales la información pre-atencional del estímulo es usada para guiar la atención hacia el estímulo relevante.

En un reciente estudio llevado a cabo por nosotros durante una tarea oddball de estimulación táctil en un grupo experimental de 17 niños con TDA, al principio y al final de un entrenamiento mediante estimulación táctil diaria, y en otro de 12 niños sin TDA, se encontraron por un lado una disminución significativa de la latencia del componente N200 en el grupo experimental al final del estudio y por otro se encontraron diferencias significativas en el N200 en áreas temporales parietales y occipitales. La conclusión a la que llegan los autores es que la estimulación táctil de manera sistemática, ordenada y organizada en niños con TDA puede ser efectiva para la mejora de la latencia de los potenciales evocados N200, así como para una mayor plasticidad cerebral parietal, asociada a la atención perceptiva (Soria-Claros y cols., 2016).

Los modelos actuales que tratan de explicar los principios que rigen la búsqueda visual postulan, como ya se ha visto, que no existen diferencias cualitativas entre la búsqueda

de características básicas y la búsqueda de conjunciones, por lo que se abandona la dicotomía estricta entre paralelo pre-atencional y serial-atencional (Leonards y cols., 2003). De tal manera que se considera que toda búsqueda puede situarse en un *continuum* de eficacia, rapidez y demanda de procesos de atención, dependiendo de las características y requerimientos específicos de cada tarea, siendo uno de los factores más determinantes en la eficacia de la búsqueda el grado de similitud física existente entre los estímulos que componen la serie, tanto entre el estímulo objetivo y los estímulos distractores como entre los distractores entre sí (Wolber y Wascher, 2003).

Recientemente, un estudio combinado de estimulación magnética transcraneal (EMT) y PE (Fuggetta y cols., 2006) ha obtenido evidencias que demuestran que la alteración, inducida mediante EMT de pulso simple, del mecanismo de control atencional regido por el parietal córtex posterior derecho no solo deteriora la ejecución de una tarea de búsqueda visual de conjunciones (color y orientación), sino que retrasa la aparición del componente temprano de N200 (reflejo de la focalización de la atención en el estímulo objetivo) sobre el hemisferio derecho. Dado que, como ya se ha mencionado, N200 refleja la actividad selectiva del córtex visual ventral extraestriado (Qu y cols., 2016) que estaría bajo el control de retroalimentación procedente de áreas implicadas en procesos de control atencional de alto nivel como el córtex parietal posterior (Woodman y Luck, 1999) sugieren un retraso en el procesamiento espacial selectivo en el córtex visual extraestriado originado por la alteración de los mecanismos de control atencional en el córtex parietal posterior.

Un estudio demostró evidencias de conexiones cortico-corticales que permitirían el control “top-down” atencional del procesamiento sensorial sugiriendo un origen neuronal del componente N200 en áreas ventrales occipito-temporales (en concreto en el córtex occipital anterior e inferotemporal posterior) con retroalimentación procedente de áreas de control

atencional de alto nivel como el córtex parietal posterior (Jaskowski y cols., 2002; Woldorff y cols., 2002; Schubo y cols., 2004).

El componente N200 también está asociado al componente preléxico, también generada desde el córtex cingulado anterior (Ladoceur y cols., 2007), y detecta el conflicto generado por respuestas contrapuestas de la información relevante/irrelevante de la tarea (Yeung y Cohen, 2006), así como los procesos asociados (Kanske y Kotz, 2011).

Los potenciales evocados somatosensoriales proveen una información sobre el procesamiento espacial táctil (Frot y Mauguière, 1999; Foxe y Schroeder, 2005); alrededor de los 50 milisegundos la actividad es predominantemente contralateral en las áreas sensoriales primarias (Desmedt y Chalklin, 1989), entre los 100-200 milisegundos se reconocen automáticamente las formas y los contornos en áreas somatosensoriales bilaterales secundarias (Desmedt y cols., 1983; Frot y Mauguière, 1999).

Asimismo, en estudios con potenciales evocados en el procesamiento de reconocimiento visual de objetos que se han localizado en la corteza latero-occipital, existen dos etapas sucesivas bien delineadas (Di Russo y Spinelli, 2002; Murray y cols., 2002; Sehatpour y cols., 2006, 2008). La primera etapa que se produce entre los 120 y 230 milisegundos, el componente N100 visual con una actividad muy familiar a través de una amplia exposición y cuyo reconocimiento es relativamente automático como en la visualización de caras (Bentin y cols., 1996), la identificación de los límites (Foxe y Schroeder, 2005; Murray y cols., 2002, 2004, 2006), y la categorización objetos (Proverbio y cols., 2007; Rossion y cols., 2000, 2002; Tanaka y Curran, 2001). Sin embargo, la segunda etapa se produce a partir de 230 a 350 mseg, asociada al componente N200, donde la identidad del objeto no se evidencia inmediatamente apareciendo como fragmentada y se presentan muy breves dibujos de objetos (Doniger y cols., 2000, 2001; Sehatpour y cols., 2006, 2008).

Diversos estudios han demostrado la existencia de una red funcional entre las cortezas frontal y occipital, que media entre la información sensorial y las representaciones almacenadas (Sehatpour y cols., 2006, 2008). En diferentes estudios llevados a cabo mediante resonancia magnética funcional se observa una participación de la corteza latero-occipital durante el reconocimiento somatosensorial de objetos, así como una gran actividad de la corteza frontal que actúa como intermediaria entre las cortezas somatosensoriales y el área occipital lateral (Peltier y cols., 2007; Deshpande y cols., 2008, 2009; Lacey y cols., 2010). El reclutamiento temprano de un área visual ventral durante la percepción táctil ofrece una nueva evaluación significativa del grado en que el neocórtex se relaciona con los sistemas sensoriales durante el procesamiento de la información (Foxye y Schroeder, 2005; Ghazanfar y Schroeder, 2006).

Por último, ha habido varios casos en los cuales pacientes con lesiones en la zona de la corteza occipital lateral, exhibieron agnosia de objetos tanto táctil como visual mientras que las capacidades de discriminación táctil orientada a objetos no fueron preservadas (Feinberg y cols., 1986; Morín y cols., 1984; James y cols., 2005; Tal y cols., 2016). Curiosamente, un informe reciente describió un paciente con lesión agnosia visual, pero no agnosia táctil (Allen y Humphreys, 2009).

Los niños con ceguera, que han tenido antes experiencias visuales, tienen latencias más cortas porque al tener mayor capacidad de discriminación táctil de formas (Norman y Bartholomew, 2011) necesitan una menor atención para realizar la tarea táctil; mientras que los niños videntes, al tener mayores dificultades en la discriminación de formas, necesitarían mayor esfuerzo y por lo tanto mayor atención tal y como lo han comprobado diferentes investigadores (Bolton y Staines, 2011; Ortiz y cols., 2015).

El reconocimiento somatosensorial de las formas se produce entre 140 y 160 milisegundos en áreas del complejo multisensorial lateral occipital (Lucan y cols., 2010).

Sin embargo, durante la discriminación de letras, los niños invidentes se diferencian de los niños videntes principalmente en áreas asociadas a áreas visuales como son el surco calcarino, cuneus, el giro temporal inferior, a la circunvolución temporal superior y media, a la circunvolución supramarginal y a la circunvolución frontal inferior y media. No obstante lo dicho, el reconocimiento táctil de letras, diferente al Braille, en las personas con ceguera, es un campo muy poco estudiado (Shimizu, 1995; Sathian y Stilla, 2010).

A la vista de todos estos estudios, que indican que el componente N200 está relacionado con procesos preléxicos y filtrado automático para la atención selectiva así como con actividad prefrontal, podemos concluir que el componente N200 de los potenciales evocados está asociado al proceso de clausura de información de reconocimientos de contornos del objeto, en la búsqueda visual y en la atención visual selectiva, que incidirá de forma significativa tanto en la latencia como en la organización cerebral de forma diferencial en los niños invidentes frente a los videntes.

#### **1.4.2.2.- Componente N400 de los PE**

Se trata de un componente negativo de los PE, con topografía centroparietal y latencia en torno a 400 mseg, relacionado con el procesamiento semántico de la información y se utiliza como variable dependiente para la evaluación del procesamiento del lenguaje. La primera vez que se informa de este componente es en el trabajo publicado por Kutas y Hillyard (1980), en el cual estos autores encontraron un componente negativo de los PE que denominaron N400 provocado por la presentación de una palabra semánticamente anómala al final de una sentencia. En este primer momento se consideró que el componente N400 era un signo electrofisiológico del reprocesamiento de la información semánticamente anómala, no obstante, experimentos posteriores matizaron esta explicación sobre la naturaleza de este componente.

En efecto, cabe destacar otro experimento realizado por estos mismos autores Kutas y Hillyard (1984) donde se puso de manifiesto que la anomalía semántica era condición suficiente pero no necesaria para provocar la aparición de este componente. En esta ocasión se manipuló la probabilidad de cierre de las palabras para completar las sentencias y pudo comprobarse que la amplitud del componente N400 se relacionaba en forma inversa con dicha probabilidad, de manera que a medida que decrecía la probabilidad de cierre se incrementaba su amplitud. De este modo pudo comprobarse cómo también una palabra semánticamente correcta en el contexto de una sentencia, pero que no era la mejor terminación para la misma, provocaba esta onda negativa.

En esta misma línea, Kutas y cols. (1984) mostraron que el componente N400 era a su vez sensible al tipo de anomalía semántica que se presentaba. Manipularon el tipo de final de una sentencia utilizando tres tipos de palabras: la mejor terminación para la sentencia, una palabra semánticamente anómala relacionada con la mejor terminación o una palabra semánticamente anómala no relacionada con la mejor terminación. Los resultados mostraron que el componente N400 era un indicador de dos procesos: el primero, la expectación que tenemos de una palabra a partir del contexto y, el segundo, la asociación semántica que una palabra guarda con la mejor terminación.

En definitiva, Kutas y cols. (1984) sugieren que el componente N400 es un índice de la cantidad de preparación semántica o activación que una palabra recibe del contexto que la precede. Posteriormente pueden encontrarse excelentes revisiones en Kutas y Van Petten (1994), Kutas y Fedenneier, (2000) como (Brown y cols., 2000) y (Gironell y col., 2003). Resultados más recientes sugieren, sin embargo, que el componente negativo N400 refleja procesos post-léxicos de integración de significados (Rugg, 1990) y la amplitud del componente negativo N400 reflejaría la cantidad de recursos necesarios para integrar un nuevo significado en su contexto previo (Holcomb, 1993; Brown y cols., 2000), sea este el

conocimiento general del mundo (Fichsler, 1990), el contenido previo de una frase, o la palabra anterior en los experimentos de priming (Bedny, 2015).

El componente negativo N400 se asocia a procesos semánticos (Hata y cols., 2011) de integración post léxica y propagación automática de información (Deacon y Shelley-Tremblay, 2000). Es selectivamente sensible al procesamiento léxico semántico (Moreno y Kutas, 2005) y se correlaciona con la actividad neuronal generada por la representación léxico semántica de las palabras (Ortells y cols., 2016).

En un reciente estudio con niños de 4 años llevado a cabo para ver el efecto del multilingüismo se encontró el componente N400 predominantemente en el hemisferio derecho. Estos datos sugieren que durante la infancia hay una red del lenguaje menos especializada y por esta razón, el procesamiento de estímulos lingüísticos es más bilateral o se lateraliza al hemisferio derecho, al contrario de lo que sucede en adultos, donde la actividad lingüística es predominantemente izquierda (Ortiz y cols., 2013). La mayor amplitud del potencial evocado N400 en el hemisferio derecho respecto al hemisferio izquierdo, pondría de manifiesto una participación preponderante del hemisferio derecho en ciertos procesos lingüísticos.

Además, podría explicarse como una interacción del potencial evocado N400 con otros componentes de los potenciales cognitivos, de distribución igualmente asimétrica. Así mismo, la respuesta del PE N400 se obtiene con la utilización de protocolos tanto con lenguaje escrito como hablado, independientemente de la lengua empleada (Besson y cols., 1992; Connolly y cols., 1990; Fischler y cols., 1987; Cobiañchi y Giaquinto, 1997).

Sin embargo, la respuesta del PE N400 no se origina cuando los estímulos son notas musicales inesperadas en una secuencia melódica (Besson y Macar, 1987), o bien cuando los

estímulos utilizados son formas geométricas o letras inesperadas en una secuencia alfabética o números inesperados en una serie numérica (Polich, 1985).

La amplitud del PE N400 también se considera como un reflejo de la clasificación del estímulo de acuerdo con sus características abstractas respecto a las lingüísticas, más que con sus características físicas (Pritchard y Duke., 1992).

Recientemente Soria-Claros y Ortiz (2015) llevaron a cabo una investigación en la que se estudiaron 27 niños, 13 invidentes (5 niñas y 8 niños) y 14 videntes (6 niñas y 8 niños). Se comprobó que el grupo de niños invidentes mostraba un menor tiempo de reacción y mayor latencia del PE N400, una mayor activación del funcionamiento cerebral del PE N400 en la circunvolución temporal media e inferior derechas, la occipital media y el área angular izquierdas y área supramarginal derecha. Asimismo los resultados mostraron un mayor número de áreas cerebrales implicadas en el reconocimiento de letras en los niños invidentes probablemente como consecuencia de la falta de conocimiento de las letras por parte de los mismos.

A la vista de todos estos datos, podríamos concluir que el componente N400 está relacionado con procesos semánticos, de integración léxica y clausura cognitiva del lenguaje que conlleva una organización cerebral de forma diferencial en los niños invidentes frente a los videntes.

## **2.- JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **2.1.- Justificación**

En el entorno escolar los invidentes no son capaces de procesar información espacial, quedándose relegados en materias como matemáticas, física, etc. Por otro lado, el acceso a la lectura a través del Braille es altamente satisfactorio, como lo son ciertos dispositivos de lectura audio o de ayuda auditiva para manejar el ordenador, según ellos mismos refieren (Jones y cols., 2011; Maidenbaum y cols., 2014, 2016). Aun así los invidentes reclaman sistemas que les otorguen más independencia, reconocimiento del entorno para poder evitar accidentes y capacidad de procesamiento de información visual.

Por tacto pasivo se entiende algo que el invidente puede realizar sin tener que estar prestando atención exclusiva a ello, como ocurre en el tacto activo, cuyo mejor ejemplo quizás es la lectura mediante el sistema Braille. La estimulación táctil pasiva permite, pues, que la persona ciega pueda estar involucrada en otro tipo de actividades, sin tener que estar prestando atención, mientras recibe información de manera eficiente a través del tacto en el orden de los milisegundos. La imagen que reciben se reconoce globalmente y se adquiere conciencia de la misma de forma inmediata (Van der Waal y cols., 2012). Simultáneamente se puede interaccionar con la audición, al igual que de forma simultánea con los receptores táctiles de Merkel (presión) y con los de Meissner (vibración).

En la adquisición del conocimiento, en el tacto activo, el aprendizaje táctil es analítico, exige que la información se logre mediante la exploración de un aspecto de un objeto a la vez y posteriormente se integra para formar el todo; en cambio, en el tacto pasivo, la estimulación táctil es global, la imagen se reconoce globalmente, no por partes y se integra al instante. La perspectiva espacial en el tacto activo de una representación gráfica, a menudo no representa la realidad concebida con las manos, y se adquieren conocimientos de forma

lenta acerca de los contornos, forma, tamaño, temperatura y peso. En el tacto pasivo sí se representa la realidad del objeto y se adquiere el conocimiento de forma inmediata. La estimulación táctil pasiva permite, pues, que la persona ciega pueda estar involucrada en otro tipo de actividades, sin tener que prestar atención a ello, y recibiendo información de manera eficiente.

Nuestras neuronas se regeneran automática y funcionalmente como consecuencia de estimulaciones ambientales con el fin de conseguir una mejor adaptación funcional al medio ambiente. Este proceso se debe llevar a cabo mediante un enfoque sistemático y diario, con una estructura de ejercicios específicamente definida donde es necesario controlar la frecuencia, intensidad y sistematización de patrones de estimulación sencillos. Hay que ajustar la repetición de la estimulación táctil para lograr la generación de nuevas conexiones cerebrales entre distintas áreas corticales y estabilizar procesos que son elementos básicos para conseguir un buen aprendizaje y promover el desarrollo cerebral integral.

Partimos de la hipótesis de que no percibimos con los ojos sino con el cerebro (Bach y Rita, 1969; Collignon y cols., 2015) y la forma de acceder a la corteza visual mediante el mismo sistema que la visión, es a través de otro de los sentidos, la audición o el tacto pasivo (Coullon y cols., 2015). La estimulación mediante el tacto pasivo permite enviar al cerebro estímulos en milisegundos de forma global y espacial al igual que lo hace la visión. La estimulación táctil pasiva de forma regular incrementa la activación (Ortiz y cols., 2011, 2014,2015) de un mayor número de conexiones sinápticas (neuroplasticidad) duraderas en áreas corticales posteriores en sujetos con ceguera. Asumiendo que la falta de estimulación, lógicamente conlleva un déficit, consecuencia de la hipofuncionalidad cerebral, en el caso de los sujetos invidentes, dicho déficit debería estar más acentuado en el lóbulo occipital responsable de la visión humana.

Muchas investigaciones se han llevado a cabo mediante el lenguaje táctil activo, Braille, encontrando resultados importantes en la participación del lóbulo occipital en estos procesos lingüísticos (Siuda-Krzywicka y cols., 2016). Sin embargo, pocos han sido los estudios que han llevado a cabo la lectura a través de la estimulación táctil pasiva mediante registro de potenciales evocados bioeléctricos (Van der Vaal, 2012). Resultados parciales (Soria-Claros y cols, 2015) de estos datos predicen que la N200 podría discriminar procesos lingüísticos, mientras que otros asocian dichos procesos multisensoriales con estructuras occipitales primarias (Murray y cols., 2016) en etapas tempranas de la información sensorial táctil (Ortiz y cols, 2011).

Para realizar la estimulación táctil pasiva en el reconocimiento de líneas y letras, disponemos de un dispositivo que consta de una videocámara que se encarga de percibir el entorno y se encuentra conectada a un estimulador táctil. El invidente pone su mano sobre dicho estimulador y la información visuo-espacial va de la mano al cerebro, el cual es capaz de interpretar la realidad circundante.

## **2.2.- Hipótesis**

Todos los datos científicos anteriormente expuestos nos llevan a las siguientes hipótesis de trabajo:

**2.2.1.-** Los niños invidentes tendrán tiempos de reacción mucho más cortos que los videntes tanto al reconocimiento de líneas como de letras como consecuencia una mayor experiencia en el reconocimiento táctil.

**2.2.2.-** Los niños invidentes tendrán más aciertos y menos errores que los videntes, tanto al reconocimiento de líneas como de letras, como consecuencia una mayor experiencia en el reconocimiento táctil.

**2.2.3.-** Los niños invidentes tendrán latencias más cortas en el componente N200 (pre-léxico) y más largas en el componente N400 (post-léxico) que los videntes, en el reconocimiento de letras, como consecuencia una falta de conocimiento del lenguaje normalizado escrito.

**2.2.4.-** Los niños invidentes organizarán la actividad cerebral de los PE (N200 y N400) en áreas posteriores parietales, responsables del reconocimiento táctil de letras, mientras que los videntes centrarán su actividad en áreas temporales, responsables del reconocimiento fonémico de letras.

### **2.3.- Objetivos**

Para poder responder a las propuestas planteadas en nuestras hipótesis de trabajo proponemos los siguientes objetivos:

- a) Primero, analizar las respuestas conductuales al reconocimiento de líneas y letras mediante estimulación táctil pasiva en niños invidentes y controles videntes.
- b) Segundo, analizar la organización cerebral durante el reconocimiento de líneas y letras en niños invidentes y controles videntes.
- c) Y en tercer lugar, analizar los componentes de los PE, N200 y N400, asociados al lenguaje, durante el reconocimiento de líneas y letras mediante la estimulación táctil pasiva en niños invidentes y sujetos controles videntes.

### **3.- MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1.-Muestra**

Hemos estudiados 24 niños videntes (chicos y chicas) y 23 invidentes (chicos y chicas) comprendidos entre 6 y 11 años, con niveles culturales, socioeconómicos e intelectuales similares. Las causas de la ceguera del grupo de niños ciegos se encuentran en la tabla 1.

Los sujetos participaron voluntariamente y fueron seleccionados aleatoriamente de los colegios de la Comunidad de Madrid, porque tenían escolarizado algún niño ciego. A cada colegio se le proporcionó una información escrita acerca de las características del estudio. El protocolo fue aprobado por la dirección del colegio y los tutores de cada uno de los niños.

Posteriormente se llevó a cabo una información verbal y escrita a los padres sobre la naturaleza del estudio que íbamos a realizar y se les pidió que firmasen el consentimiento informado en caso de estar de acuerdo con la investigación (*Anexo 1*). Antes del estudio se habló con cada uno de los niños explicándoles las características del mismo.

*Los criterios de inclusión* fueron: edad entre 6 y 11 años, escolaridad activa, cociente intelectual (CI) normal (el CI fue verificado a través de los informes psicopedagógicos escolares). En el grupo de niños ciegos la única variable controlada fue que la visión estuviera por debajo del 5 %.

*Los criterios de exclusión* fueron: tener un déficit sensorial diferente a la ceguera, tener algún tipo de alteración neuropsiquiátrica o historia de trauma o hipoxia cerebral.

El estudio fue aprobado por el comité de bioética del Hospital Clínico San Carlos de Madrid. Informe del comité ético de investigación clínica número (CI 10/107 E) (*Anexo 2*). Se tomaron todas las medidas para cumplir con la declaración de Helsinki.

Sujeto	Comienzo ceguera	Percepción Luz	Etiología
DP	Nacimiento	No	Amaurosis congénita de Léber
SC	Nacimiento	Si	Coloboma Iridocoriorretiniano/Endotropía Nistagmus
MM	Nacimiento	No	Distrofias Retinianas Hereditarias
CH	1 año	Si	Atrofia Óptica, Nistagmus
DC	Nacimiento	Si	Coloboma Iridocoriorretiniano/Endotropía Nistagmus
JCB	Nacimiento	No	Distrofia Retiniana, Glaucoma
AO	1 año	No	Amaurosis Congénita por hipoplasia del nervio óptico
GP	1 año	No	Retinosis Pigmentaria, Nistagmus laterales
AG	Nacimiento	Si	Distrofias Retinianas Hereditarias
JA	Nacimiento	Si	Distrofia Retiniana Sensorial
AV	3 años	No	Atrofia del nervio óptico
DA	6 años	No	Retinosis Pigmentaria
LF	Nacimiento	No	Retinopatía del prematuro
SJ	3 años	No	Hipoplasia y Atrofia óptica
ZS	Nacimiento	No	Distrofias Retinianas
AH	1 año	Si	Glaucoma Congénito bilateral
AP	Nacimiento	Si	Retinoblastoma
PM	Nacimiento	Si	Distrofias Vitrorretinianas
HR	3 años	No	Desprendimiento de retina bilateral
MA	Nacimiento	Si	Coloboma/otras anomalías
JP	Nacimiento	Si	Nistagmus congénito
ID	Nacimiento	Si	Retinoblastoma bilateral multifocal
RS	Nacimiento	Si	Retinoblastoma bilateral

**Tabla 1.-** Características de la ceguera del grupo de niños invidentes.

### 3.2.-Prueba de registro de EEG durante estimulación táctil.

Los potenciales evocados permiten analizar la actividad cerebral subyacente a la estimulación cognitiva durante diferentes estados del procesamiento de la información a lo largo del tiempo, y pueden ser una excelente técnica de registro cerebral para analizar la plasticidad cerebral. Esta plasticidad cortical podría venir determinada por procesos “bottom-up” del procesamiento cerebral lingüístico, representados principalmente por los componentes N200 y N400 de los potenciales evocados.

Se llevó a cabo la estimulación táctil mediante el paradigma Oddball, que consistió en dos pruebas, una mediante reconocimiento de líneas y otra de letras. La prueba de reconocimiento de líneas consistió en la presentación en la pantalla del ordenador de una línea vertical y otra horizontal. La línea horizontal que fue considerada el estímulo target o diana y que se produjo en un 20% de los estímulos, aleatoriamente distribuidos a lo largo de la prueba, y la otra vertical, que fue considerada el estímulo estándar y que se produjo con una frecuencia de un 80% de las veces. Las líneas fueron de 0,5 cm de ancho y 5 cm de largo y se representaron en la palma de la mano mediante un estimulador táctil con un tiempo de presentación de 300 milisegundos y un tiempo de respuesta de 700 milisegundos, del mismo modo que aparecieron en la pantalla del ordenador. El niño/a tenía que responder pulsando la barra espaciadora cada vez que aparecía la línea horizontal (estímulo target) (Figura 1).



**Figura 1.-** Representación de un niño invidente discriminando líneas verticales, horizontales y oblicuas

La prueba de letras consistió en la presentación en la pantalla del ordenador de una letra L y una letra N. La letra N fue considerada como el estímulo target o diana y que se produjo en un 20% de los estímulos, aleatoriamente distribuidos a lo largo de la prueba, y la otra, la letra L, que fue considerada el estímulo estándar y que se produjo con una frecuencia de un 80% de las veces.

Las letras fueron de 0,5 cm de ancho y 5 cm de largo y se representaron en la palma de la mano mediante un estimulador táctil con un tiempo de presentación de 300 milisegundos y un tiempo de respuesta de 700 milisegundos, del mismo modo que aparecieron en la pantalla del ordenador. El niño/a tenía que responder pulsando la barra espaciadora cada vez que aparezca la letra N (Figura 2).



**Figura 2.-** Representación de un niño invidente discriminando letras mayúsculas

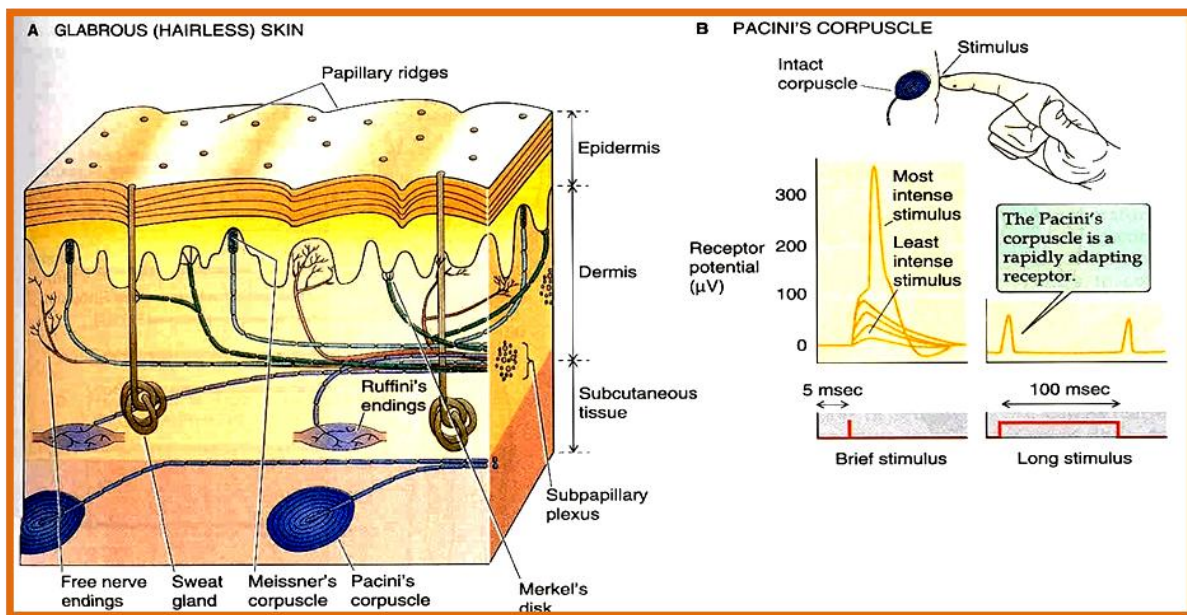
Los estímulos fueron representados espacialmente en el centro de la pantalla del ordenador con una repetición sistemática, ordenada y organizada pseudo-aleatoriamente y enviados con la mismas características espaciales, de tamaño, de longitud, tiempo de presentación en pantalla a un estimulador vibrotáctil de aproximadamente 15 x 12 cms, de < de 250 gr de peso, con cerca de 1000 puntos de estimulación separados por alrededor de 2 cm uno de otro, que se aplica sobre la palma de la mano directamente de forma no-invasiva e indolora y que es capaz de traducir los estímulos que aparecen en la pantalla del ordenador en estímulos táctiles.

Los estímulos visuales que aparecen en la pantalla del ordenador se traducen en impulsos vibrotáctiles, que estimulan los receptores de Meissner y mediante una pequeña presión son capaces de estimular los receptores de Merkel.

Los corpúsculos de Meissner tienen una capacidad de adaptación rápida y se caracterizan por ser sensitivos a campos receptivos pequeños capaces de localizarlos y percibirlo mediante vibración, mientras que los receptores de Merkel tienen una capacidad de adaptación lenta y se caracterizan por ser sensitivos también a campos receptivos pequeños, sensitivos a la temperatura, a las formas y la rugosidad táctiles y son a la presión y vibración.

Los receptores de Merkel son mecano-receptores que se encuentran en la piel y proporcionan información al cerebro. Dicha información tiene que ver con la presión y la textura. Cada terminación consta de una célula de Merkel en oposición cercana con una terminación nerviosa. Su estructura semirrígida y el hecho de que no están encapsuladas hacen que tengan una respuesta sostenida (en forma de potenciales de acción o picos) a la desviación mecánica del tejido. Son los más sensibles dentro de los principales mecano-receptores (los corpúsculos de Pacini, los corpúsculos de Meissner, los corpúsculos de Krause y los corpúsculos de Ruffini) a las vibraciones de baja frecuencia, entre los 5 y los 15 Hz (Tabla 2).

Debido a su respuesta sostenida a la presión, las terminaciones nerviosas de Merkel funcionan como un mecano-receptor de adaptación lenta, localizados en la epidermis tanto de piel glabra como de piel velluda. Sus aferentes mielinizados en la epidermis pierden la mielina antes de entrar a la dermis. Su porción terminal es plana y extendida, y tiene un alto contenido de mitocondrias en contraste con los corpúsculos de Pacini que son receptores de rápida adaptación que responden únicamente al inicio y final de la desviación mecánica, y a las vibraciones de alta frecuencia (Figura 3).



**Figura 3.-** Mecano-receptores de la piel

Los corpúsculos de Meissner son un tipo de terminaciones nerviosas en la piel que son responsables de la sensibilidad para el tacto ligero. En particular, tienen la mayor sensibilidad (el umbral de respuesta más bajo) cuando reciben vibraciones de menos de 50 Hertz. Son receptores rápidamente activos. Su estructura consta de terminaciones nerviosas no mielinizadas encapsuladas, que consisten de células aplanadas de sostén dispuestas como lamelas horizontales rodeadas por una cápsula de tejido conectivo. El corpúsculo tiene de 30 a 140  $\mu m$  de largo y de 40 a 61  $\mu m$  de diámetro. Una única fibra nerviosa serpentea entre las lamelas y a través del corpúsculo.

Dado que son de adaptación rápida o fásicos, los potenciales de acción generados decrecen rápidamente y acaban cesando (ésta es la razón por la que se deja de sentir la ropa que uno lleva puesta). Si el estímulo se elimina, el corpúsculo recupera su forma y mientras eso ocurre (es decir se está deformando físicamente) causa que se genere otra descarga de potenciales de acción. Debido a su localización superficial en la dermis, estos corpúsculos son particularmente sensibles al tacto y vibraciones, pero por las mismas razones, se limitan en la detección porque solo pueden señalar que algo está tocando la piel.

Mecano-receptores	Ubicación	Función	Adaptación
<b>Corpúsculos de Meissner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Papilas dérmicas.</li> <li>● Puntas de los dedos.</li> <li>● Lengua, labios.</li> <li>● Piel no vellosa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tacto discriminativo.</li> <li>● Se activan por vibración de baja frecuencia (20-50 Hz)</li> <li>● Detecta movimientos de objeto en la piel.</li> <li>● Identificación de textura.</li> <li>● Intensidad del estímulo: <i>Sumación espacial</i> (mayor potencia al aumentar el número de fibras estimuladas). <i>Sumación temporal</i> (mayor potencia al estimular la frecuencia de los impulsos nerviosos de cada fibra).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Rápida</li> </ul>
<b>Merkel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Debajo de la epidermis</li> <li>● Piel no vellosa y vellosa</li> <li>● Terminaciones nerviosas (aférentes mielinizados)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Deformación mecánica continua y mecánica de piel y textura.</li> <li>● Se activan por vibración de baja frecuencia (5-15 Hz).</li> <li>● Su porción terminal es plana y extendida, y tiene un alto contenido de mitocondrias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lenta</li> </ul>

**Tabla 2.-.** Características de los receptores táctiles de Meissner y Merkel, adaptado de Malamud-Kessler y cols. (2014)

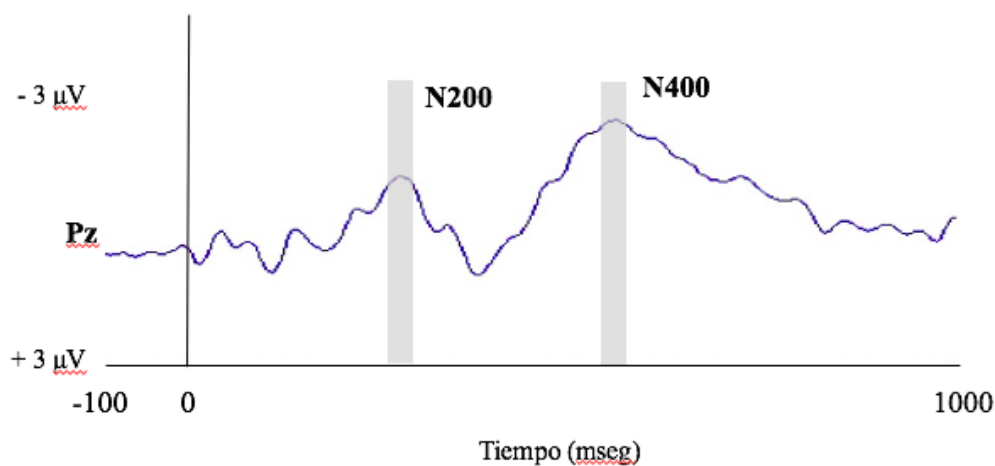
El equipo de estimulación táctil consiste en un dispositivo que consta de unas gafas, en las que están integrados una microcámara y un estimulador táctil. La microcámara capta imágenes que son traducidas por un microprocesador a siluetas que son vehiculadas directamente a la piel del invidente mediante un estimulador táctil.

El estimulador táctil es un dispositivo de aproximadamente 15 x 12 cms, de < de 250 gr de peso, y que se aplica sobre la piel de la mano directamente, de forma no-invasiva e indolora. Es decir, el equipo traduce información visual (recogida por la microcámara) en información táctil (expresada por el estimulador). La conexión microcámara-estimulador táctil es por blue-tooth.

En nuestro estudio la microcámara capta de la pantalla del ordenador las líneas y letras y las traduce al estimulador táctil reproduciendo exactamente la imagen que aparece en la pantalla, tanto en tamaño, como en forma y localización espacial.

Los registros temporales de los potenciales evocados fueron de 1000 mseg de duración (100 mseg pre-estímulo, duración de estímulo 300 mseg, 600 mseg después del estímulo). La línea de base se definió como voltaje medio en el período de 100 mseg antes de inicio del estímulo. Los potenciales evocados obtenidos se promediaron por separado para cada condición y cada sujeto.

Se analizaron los componentes de las últimas etapas de procesamiento mediante la deflexión negativa N200 que se encuentra en una ventana entre 180-320 mseg y N400 entre 350-580 mseg respectivamente, analizando una ventana de tiempo de 40 mseg (-20 y +20 mseg a partir del pico de mayor amplitud) medida desde el electrodo Pz para localizar las fuentes en todos los electrodos mediante LORETA (Ortiz y cols., 2011) (Figura 4).



**Figura 4.-** Representación morfológica de los componentes de los PE N200 y N400 localizados en el electrodo Pz . La ventana para el análisis de los componentes N200 y N400 fue determinada a partir de la máxima amplitud del electrodo Pz. Las fuentes neuronales de los mapas de actividad eléctrica cerebral se llevaron a cabo en un rango de 40 milisegundos (- 20 milisegundos antes y + 20 milisegundos después del pico de máxima amplitud del electrodo Pz ) (marcado en gris en la gráfica)

### 3. 3.- Equipo de electroencefalografía (EEG)

El estudio se llevó a cabo en una habitación semioscura y sin ruidos ambientales mediante un sistema ATI Vertex Modelo EEG-128 canales (Advantek SRL) de alta densidad (Figura 5) usando un casco Neuroscan.



**Figura 5.-** ATI Vertex Modelo EEG-128 canales (Advantek SRL) de alta densidad usando un casco Neuroscan.

El sistema consta de 128 canales configurables como 128 monopares o 64 diferenciales o combinaciones de ambos tipos, con un muestreo de frecuencia de 320 Hz. Las impedancias se mantuvieron por debajo de 5 k $\Omega$ . Se registraron, mediante canales adicionales localizados en cantus, supraciliar y palpebrales inferiores de ambos ojos. Los electrodos de referencia media se localizaron en mastoides bilaterales.

La adquisición se llevó a cabo con un filtro de paso de banda de 0,05 a 30 Hz y una frecuencia de muestreo de 512 Hz. La eliminación de movimientos oculares se llevó a cabo mediante inspección visual directa de las ondas del EEG de forma manual. Los canales ruidosos fueron reemplazados mediante interpolaciones lineales de canales limpios adyacentes.

El procedimiento que seguimos en la colocación del casco y electrodos para el registro de los potenciales evocados se llevó a cabo de la siguiente manera: Una vez sentado el sujeto en un cómodo asiento se comenzó pasando un peine por el cuero cabelludo con el fin de

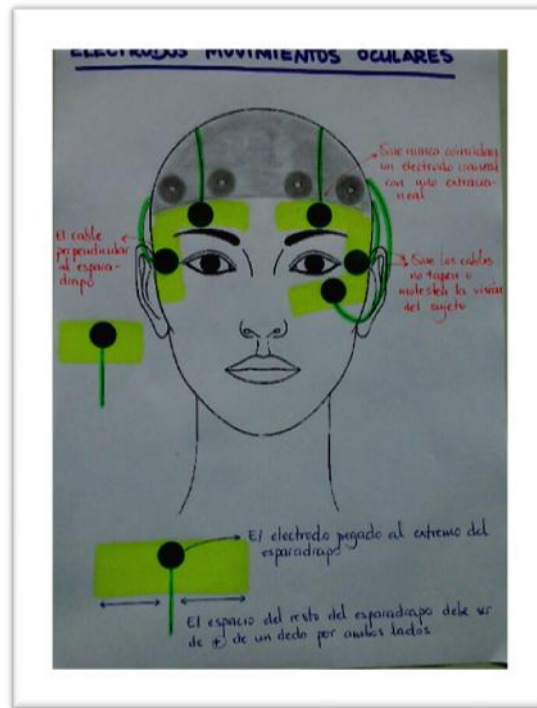
desenredar y limpiar el pelo; posteriormente se pasó a humedecer, hidratar y reducir la impedancia con un difusor con agua, luego se colocaron los quick-cells (Figura 6 imagen central) en el casco Neuroscan (Figura 6, imagen izquierda) e inmediatamente se colocó dicho casco en la cabeza del sujeto; tras ello se paso a rellenar la jeringuilla con la punta roma de una pipeta electrónica con el líquido electrolito y a colocarla a través del orificio del electrodo para llegar a la parte inferior de la esponja Quik-Cell (Figura 6, imagen de la derecha); al contacto con el líquido las Quik-Cell se expanden para proporcionar contacto con el cuero cabelludo y servir de puente conductor de agua salada mediante las pipetas (Figura 6, imagen derecha) de cada uno de los electrodos.



**Figura 6.-** Casco Neuroscan, Quick-cells expandidas y pipeta del sistema de rellenado de líquido.

A continuación se identifican los puntos de referencia en ambos mastoides, así como en el cantus, supraciliar y palpebrales inferiores de los ojos para controlar los movimientos oculares (Figura 7).

En un paso siguiente se comienza con colocar el gel conductor en los electrodos de referencia así como en los de los músculos oculares mediante una jeringa de punta roma para una rápida aplicación.



**Figura 7.-** Colocación de los electrodos para el control de movimientos oculares

### 3.4.-Método de reconstrucción de la localización de fuentes cerebrales

Para el cálculo de la tomografía eléctrica cerebral se utilizó LORETA (Low-Resolution Electromagnetic Tomography) del software de Neuronic® (Pascual-Marqui y cols., 1994, 2002). Se aplicaron restricciones anatómicas de volumen cerebral y se utilizó una plantilla media del cerebro humano. Estos datos se analizaron en el dominio del tiempo y la tomografía se calculó para cada caso por separado.

Los diferentes modelos se definieron mediante la limitación de la fuente a un compartimiento anatómico utilizando el cerebro del atlas probabilístico (PBA) (Evans y cols. (1993), Mazziotta y cols. (1995). Las fuentes de los componentes N200 y N400 se estimaron a partir de 123 grabaciones de electrodos en todos los niños. Mediante el SPM se calcularon en base a un voxel- por voxel independiente de prueba de Hotelling T2 contra cero (Carbonell y cols, 2004) entre los grupos para estimar fuentes estadísticamente significativas para las líneas y letras. Los mapas de probabilidad resultantes a partir del umbral de proporción

esperada de falsos positivos entre las pruebas que fueron significativas (False Discovery Rate (FDR)  $q < 0.05$  (Ihage-Castellanos y cols., 2010) y con un clúster superior a 10 voxels por encima del umbral, se representan como imágenes activación 3D superpuestas en el cerebro promedio de acuerdo con el sistema de coordenadas a MNI (Tzourio-Mazoyer y cols., 2002).

### **3.5.- Análisis estadísticos**

Se utilizaron técnicas de estadística descriptiva para exponer los resultados de las variables sociodemográficas. Se comprueba la homogeneidad de las variables sociodemográficas cuantitativas mediante análisis de varianza (ANOVA). Los grupos homogéneos se refieren en cuanto a la edad. Para las variables de latencias, tiempo de reacción, aciertos y errores se realizó la prueba T de Student. El nivel de significación  $\alpha$  se establece en el 0,05. Para el análisis de resultados se utilizó el paquete estadístico SPSS en su versión 22.

### **3.6.- Procedimiento**

El estudio de potenciales evocados somatosensoriales mediante EEG se llevó a cabo en el Departamento de Psiquiatría y Psicología Médica de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, durante el horario de tarde comprendido entre las 17 y las 20 horas.

El registro se hizo en una habitación semiinsonorizada para evitar interferencias externas, semioscura, para evitar el efecto de la luminosidad en aquellos niños invidentes con restos visuales y por la tarde para que no hubiese ruidos externos de alumnos, dado que por la tarde no existen clases en el departamento.

Nada más llegar el niño invidente acompañado con sus padres al departamento de psiquiatría y psicología médica se le explicaba todo el proceso del estudio para que tuviese conciencia del tiempo que iba a estar, de la atención que tenía que prestar y de las pruebas que tenía que hacer. Posteriormente se le invitaba a tocar todos los aparatos, instrumentos, EEG, teclado y utilitarios que iban a estar presentes en las pruebas. En un tercer momento se le mostraba el estimulador táctil, la microcámara y las gafas que la iban a sustentar y se le pedía que hiciese una prueba para familiarizarse con el equipo.

Una vez que ya se familiarizó y adquirió la suficiente confianza se comenzó con el inicio de la posición en la silla delante del ordenador. Posteriormente se le preparó el cuero cabelludo, mediante limpieza y humedecimiento del cabello con el fin de tener mayor conductividad bioeléctrica.

Después se comenzó a colocar el casco de EEG de 128 canales y los electrodos de referencia. A continuación se comprobó que las impedancias de los electrodos se encontraban por debajo de 5 Kilo-ohmio [ $k\Omega$ ].

Una vez concluida la preparación para el registro de los potenciales evocados mediante EEG se hizo un ensayo de la prueba para comprobar que todo funcionaba bien y para que el niño invidente tuviese confianza con ella. Cuando el niño nos dijo que estaba seguro de lo que iba a hacer comenzó la prueba.



## 4.- RESULTADOS

### 4.1.- Variables sociodemográficas

El final de la muestra consistió en dos grupos de niños de ambos sexos, uno de 24 niños videntes y otro de 23 invidentes comprendidos entre 6 y 11 años, con niveles culturales, socioeconómicos e intelectuales similares. Los datos demográficos reflejan por un lado que todos los sujetos de la muestra se encontraban escolarizados entre los cursos académicos de 1° de primaria a 6° de primaria.

El grupo de niños invidentes constaba de 13 chicos y de 10 chicas, mientras que el grupo de niños videntes fue de 14 chicos y de 10 chicas. La media de edad fue de 7,95 años y la desviación típica de 1,572 en el grupo de niños invidentes, y una media de 9,20 años y una desviación típica de 0,894 en el grupo de niños videntes. Los resultados de las pruebas estadísticas para ver la homogeneidad de los grupos demuestra que cuando hacemos la comparación entre grupos por edades los grupos no son homogéneos ( $p=0.004$ ). (Tabla 3 y 4).

Grupos	Edad	Sexo	Educación	Estatus económico
<b>Grupo vidente</b>	9,20	10 femenino 14 masculino	3° (5), 4° (6), 5° (8), 6° (5).	Medio
<b>Grupo invidente</b>	7,95	13 masculino 10 femenino	1° (6)2° (7), 4° (6), 5° (4).	Medio

**Tabla 3.-** Características sociodemográficas.

Grupo		N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
<b>Edad</b>	<b>Invidentes</b>	20	7,95	1,572	0,352	
	<b>Videntes</b>	20	9,20	0,894	0,200	
Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias				
<b>F</b>	<b>Sig.</b>	<b>T</b>	<b>GI</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>	<b>Diferencia de medias</b>	<b>Diferencia de error</b>
9.643	0,04	-3,091	38	0,004	-1,250	0,404
		-3,091	30,135	0,004	-1,250	0,404

**Tabla 4.-** Resultados de las pruebas estadísticas para ver la homogeneidad de los grupos.

## 4.2.- Variables Conductuales

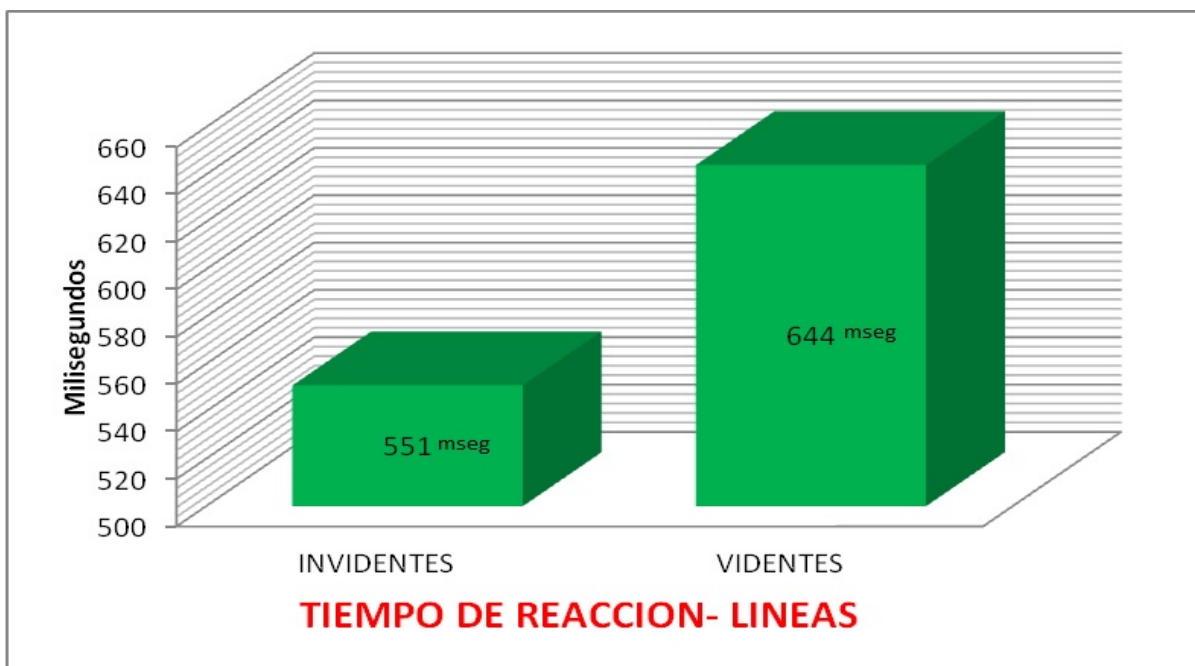
### 4.2.1.-Líneas

#### 4.2.1.1.- Tiempo de reacción

Los resultados demuestran tiempos de reacción más cortos en el grupo de niños invidentes ( $\bar{X}$ : 551 msec, DT: 96,977) en relación a los controles ( $\bar{X}$ : 644 msec, DT: 55, 846) y diferencias significativas en el TR ( $p \leq 0.001$ ) entre ambos grupos durante el reconocimiento de líneas. Merece destacarse también la enorme variabilidad de los tiempos de reacción de los invidentes. Los resultados del tiempo de reacción asociados a la estimulación táctil de reconocimiento de líneas muestran que los niños invidentes dan respuestas mucho más rápidas que las del grupo Vidente (Tabla 5 y Figura 8).

	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
TR líneas	Invidentes	20	551,50	96,977	21,685
	Videntes	20	644,10	55,846	12,487
	T	GI	Sig.	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Estadística comparativa	-3,701	38	0,001	-92,600	25,023

**Tabla 5.-** Medias y desviaciones típicas de ambos grupos, videntes e invidentes, en el tiempo de reacción durante el reconocimiento de líneas. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.



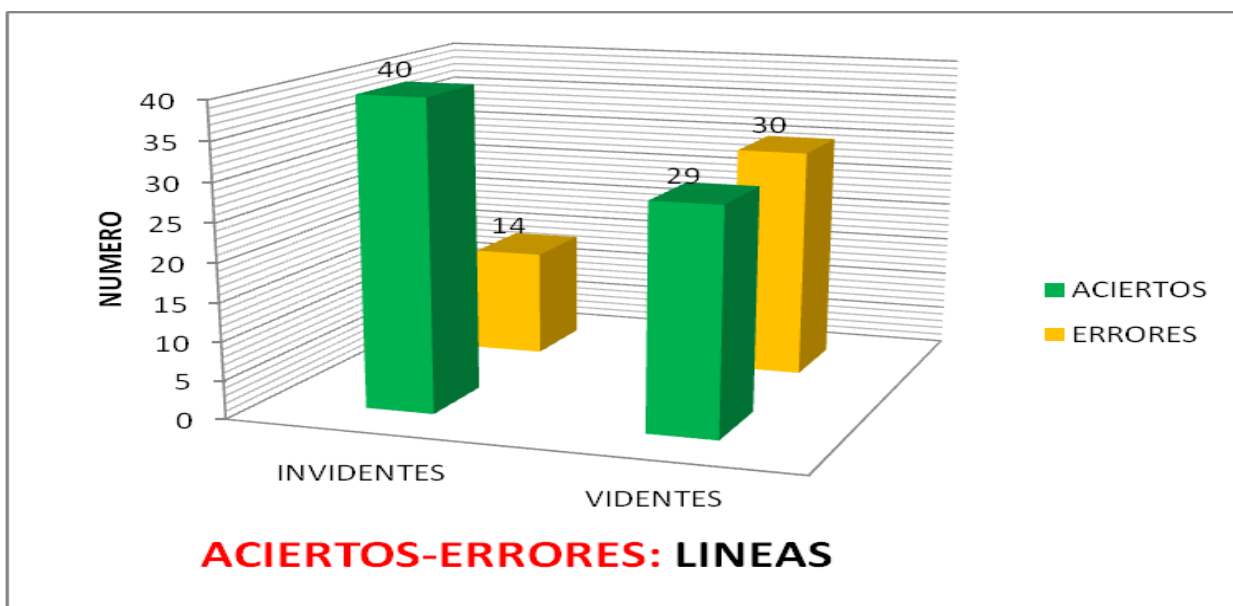
**Figura 8.-** Tiempo de reacción medio en los grupos de niños videntes e invidentes durante el reconocimiento de líneas.

#### 4.2.1.2- Aciertos y errores

Los resultados demuestran mas aciertos en el grupo de niños invidentes ( $\bar{X}$ : 39,90, DT: 9,380) en relación a los controles ( $\bar{X}$ : 29,70, DT: 12,691) con diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,006$ ). En relación con los errores los resultados demuestran menos errores en el grupo de niños invidentes ( $\bar{X}$ : 14,00, DT: 4,117) en relación a los controles ( $\bar{X}$ : 30,45, DT: 12,176) con diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,001$ ) (Tabla 6 y Figura 9).

	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
<b>Aciertos</b>	<b>Invidentes</b>	20	39,90	9,380	2,097
	<b>Videntes</b>	20	29,70	12,691	2,838
<b>Errores</b>	<b>Invidentes</b>	20	14,00	4,117	0,921
	<b>Videntes</b>	20	30,45	12,176	2,723
	T	Gl	Sig.	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
<b>Estadística comparativa Aciertos</b>	2,890	38	0,006	10,200	3,529
<b>Estadística comparativa Errores</b>	-5,724	38	0,001	-16,450	2,874

**Tabla 6.-** Medias y desviaciones típicas de ambos grupos, videntes e invidentes, en los aciertos y errores durante el reconocimiento de líneas. Comparaciones y diferencias entre ambos grupos.



**Figura 9.** -Aciertos y errores medios en los grupos de niños videntes e invidentes durante el reconocimiento de líneas.

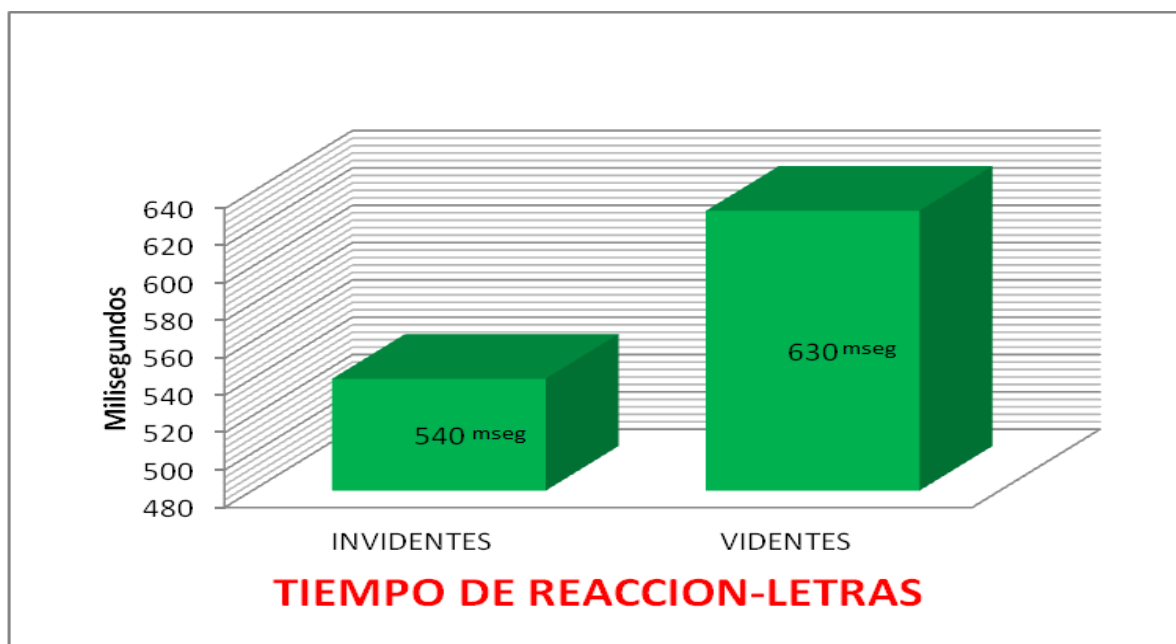
## 4.2.2.- Letras

### 4.2.2.1.- Tiempos de reacción

Los resultados demuestran tiempos de reacción más cortos en el grupo de niños invidentes ( $\bar{X}$ : 540,55 msec, DT: 106,994) en relación a los controles ( $\bar{X}$ : 630,40 msec, DT: 58,202) y diferencias significativas ( $p \leq 0.003$ ) entre ambos grupos durante el reconocimiento de letras. Merece destacarse también la enorme variabilidad de los tiempos de reacción de los invidentes en relación a los controles. Por lo tanto los resultados del TR asociados a la estimulación táctil de reconocimiento de letras muestran que los niños invidentes dan respuestas mucho más rápidas que las del grupo de niños videntes (Tabla 7 y Figura 10).

	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
TR letras	Invidentes	20	540,55	106,994	23,925
	Videntes	20	630,40	58,202	13,014
	T	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Estadística comparativa	-3,299	29,339	0,003	-89,850	27,235

**Tabla 7.-** Medias y desviaciones típicas de ambos grupos, videntes e invidentes, en el tiempo de reacción durante el reconocimiento de letras. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.



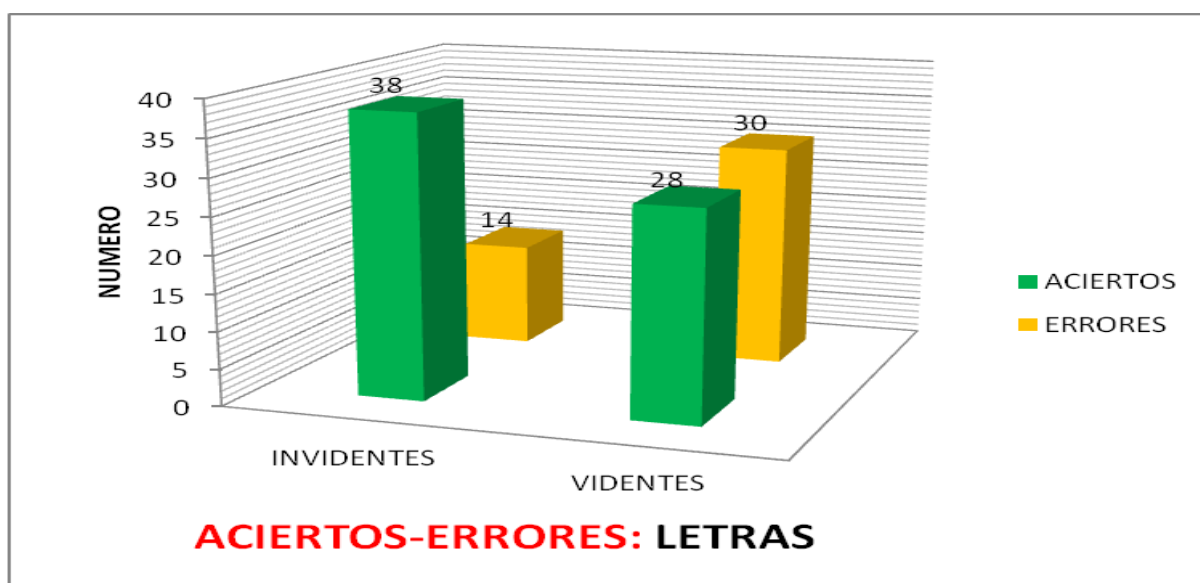
**Figura 10.-** Tiempo de reacción medio en los grupos de niños videntes e invidentes durante el reconocimiento de letras.

#### 4.2.2.2- Aciertos y errores

Los resultados muestran mas aciertos en el grupo de niños invidentes (Invidentes  $\bar{X}$ : 38,40, DT: 9,034) en relación a los controles (Controles  $\bar{X}$ : 28,35, DT: 7,9 95) con diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,001$ ). En relación con los errores los resultados muestran menos errores en el grupo de niños invidentes ( $\bar{X}$ : 14,35, DT: 6,938) en relación a los controles ( $\bar{X}$ : 29,65, DT: 9,444) con diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,001$ ) (Tablas 8 y Figura 11).

	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
<b>Aciertos</b>	<b>Invidentes</b>	20	38,40	9,034	2,020
	<b>Videntes</b>	20	28,35	7,995	1,788
<b>Errores</b>	<b>Invidentes</b>	20	14,35	6,938	1,551
	<b>Videntes</b>	20	29,65	9,444	2,112
	<b>T</b>	<b>Gl</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>	<b>Diferencia de medias</b>	<b>Diferencia de error estándar</b>
<b>Estadística comparativa Aciertos</b>	3,725	37,446	0,001	10,050	2,698
<b>Estadística comparativa Errores</b>	-5,839	34,882	0,001	-15,300	2,620

**Tabla 8.-** Medias y desviaciones típicas de ambos grupos, videntes e invidentes, en los aciertos y errores durante el reconocimiento de letras. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.



**Figura 11.-** Aciertos y errores medios en los grupos de niños videntes e invidente durante el reconocimiento de letras.

### 4.3.- Componentes de los potenciales evocados N200 y N400

#### 4.3.1.- Latencias de los potenciales evocados N200 y N400

##### 4.3.1.1.-Líneas

Los resultados de las latencias del componente N200 asociado a la estimulación táctil de reconocimiento de líneas muestran que los niños invidentes tienen latencias similares con el grupo control (Invidentes  $\bar{X}$ : 262,50 mseg, DT: 46,869) y (Controles  $\bar{X}$ : 257,10 mseg, DT: 25,662) sin diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,655$ ). Los resultados de las latencias del componente N400 asociado a la estimulación táctil de reconocimiento de líneas muestran que los niños invidentes tienen una latencia más corta (Invidentes  $\bar{X}$ : 402,35 mseg, DT: 47,097) que los controles (Controles  $\bar{X}$ : 426,70 mseg, DT: 21,955) con diferencias estadísticamente significativas en la latencia N400 ( $p \leq 0,046$ ) (Tabla 9 y Figura 12).

	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
<b>N200 líneas</b>	<b>Invidentes</b>	20	262,50	46,869	10,480
	<b>Videntes</b>	20	257,10	25,662	5,738
<b>N400 líneas</b>	<b>Invidentes</b>	20	402,35	47,097	10,531
	<b>Videntes</b>	20	426,70	21,955	4,909
	T	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
<b>N200 líneas</b>	0,452	29,452	0,655	5,400	11,948
<b>N400 líneas</b>	-2,096	26,885	0,046	-24,350	11,619

Tabla 9.- Medias y desviaciones típicas de ambos grupos, videntes e invidentes, en las latencias de los componentes N200 y N400 durante el reconocimiento de líneas. Comparaciones y diferencias entre ambos grupos.

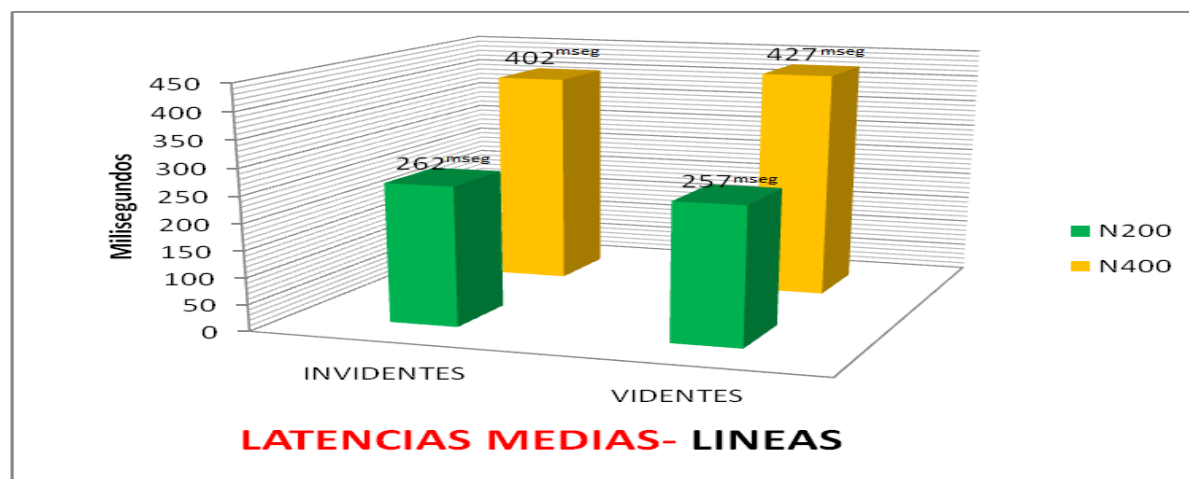


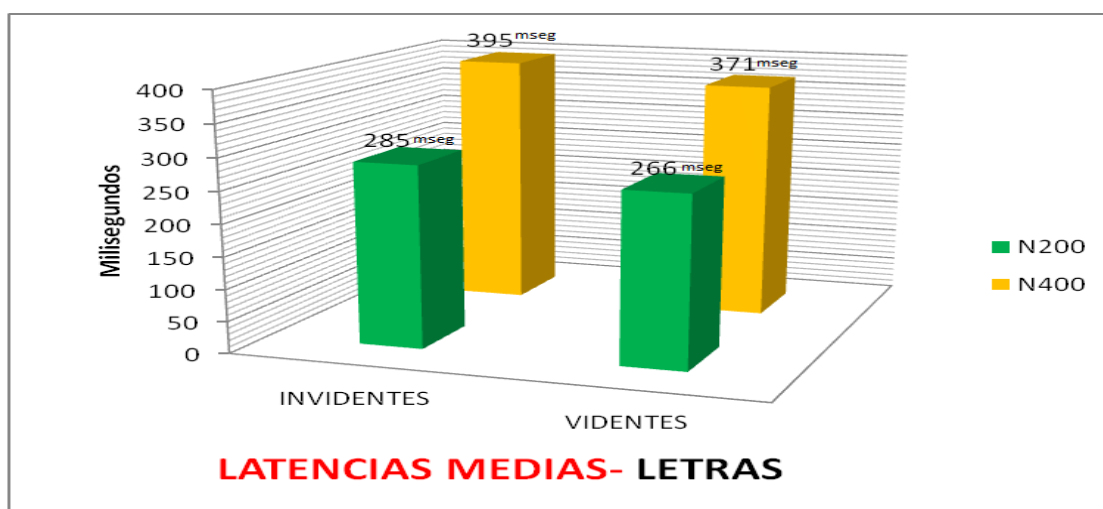
Figura 12.- Latencias medias de los componentes N200 y N400 durante el reconocimiento de líneas en los grupos de niños videntes e invidentes.

### 4.3.1.2.- Letras

Los resultados de las latencias del componente N200 asociado a la estimulación táctil de reconocimiento de letras muestran que los niños invidentes tienen latencias similares con el grupo control (Invidentes  $\bar{X}$ : 285,45 mseg, DT: 41,723) y (Controles  $\bar{X}$ : 266,90 mseg, DT: 24,510) con tendencia significativa ( $p \leq 0,097$ ). Los resultados de las latencias del componente N400 asociado a la estimulación táctil de reconocimiento de letras muestran que los niños invidentes tienen una latencia más larga (Invidentes  $\bar{X}$ : 395,60 mseg, DT: 40,405) que los controles (Controles  $\bar{X}$ : 371,15 mseg, DT: 23,266) con diferencias estadísticamente significativas en la latencia N400 ( $p \leq 0,026$ ). (Tabla 10 y Figura 14).

	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
<b>N200 letras</b>	<b>Invidentes</b>	20	285,45	<b>41,723</b>	9,329
	<b>Videntes</b>	20	266,90	<b>24,510</b>	5,481
<b>N400 letras</b>	<b>Invidentes</b>	20	395,60	<b>40,405</b>	9,035
	<b>Videntes</b>	20	371,15	<b>23,266</b>	5,202
	T	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
<b>N200 letras</b>	1,714	30,718	0,097	18,550	<b>10,820</b>
<b>N400 letras</b>	2,345	30,351	0,026	24,450	<b>10,426</b>

**Tabla 10.-** Medias y desviaciones típicas de, videntes e invidentes, en las latencias de los componentes N200 y N400 durante el reconocimiento de letras. Comparaciones y diferencias significativas entre ambos grupos.

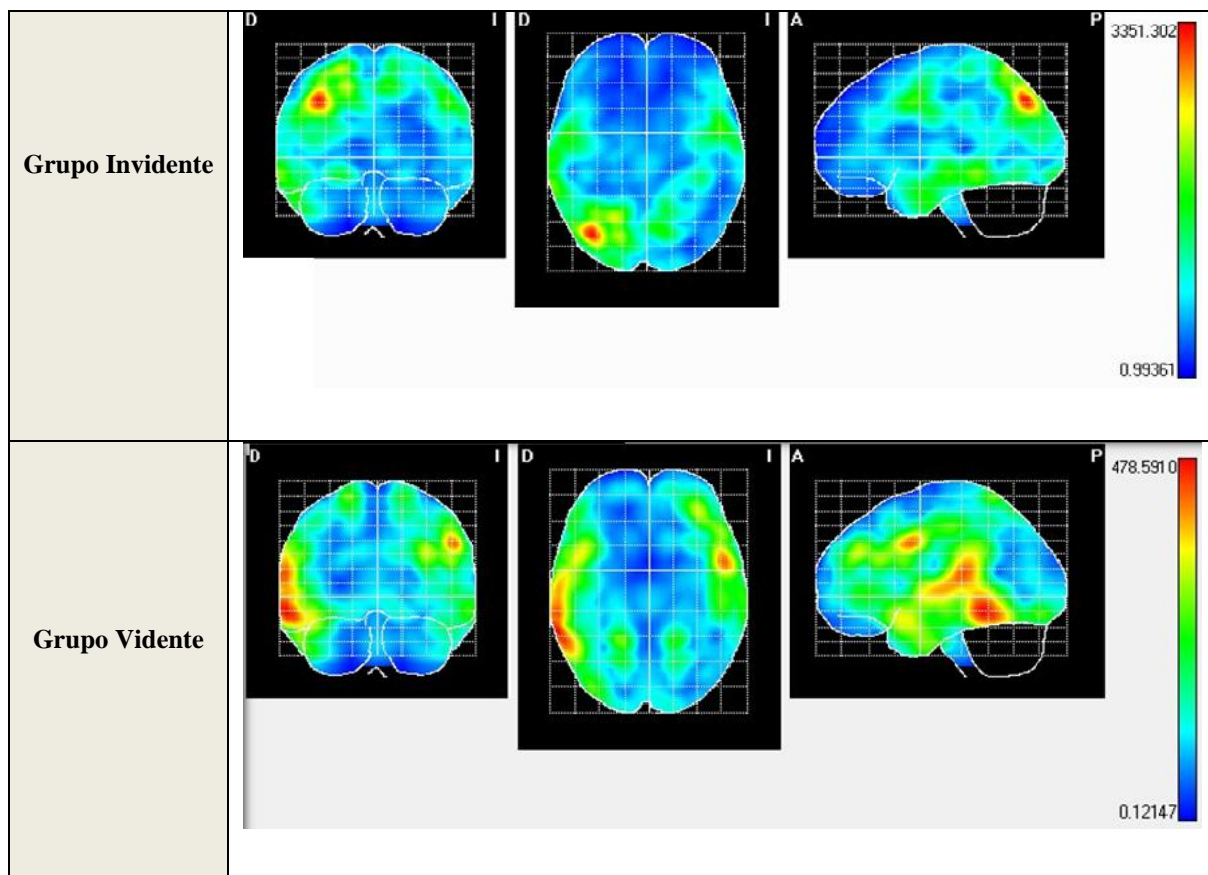


**Figura 13.-** Latencias medias de los componentes N200 y N400 durante el reconocimiento de letras en los grupos de niños videntes e invidentes.

### 4.3.3.- Localización de fuentes cerebrales

#### 4.3.3.1.- Líneas

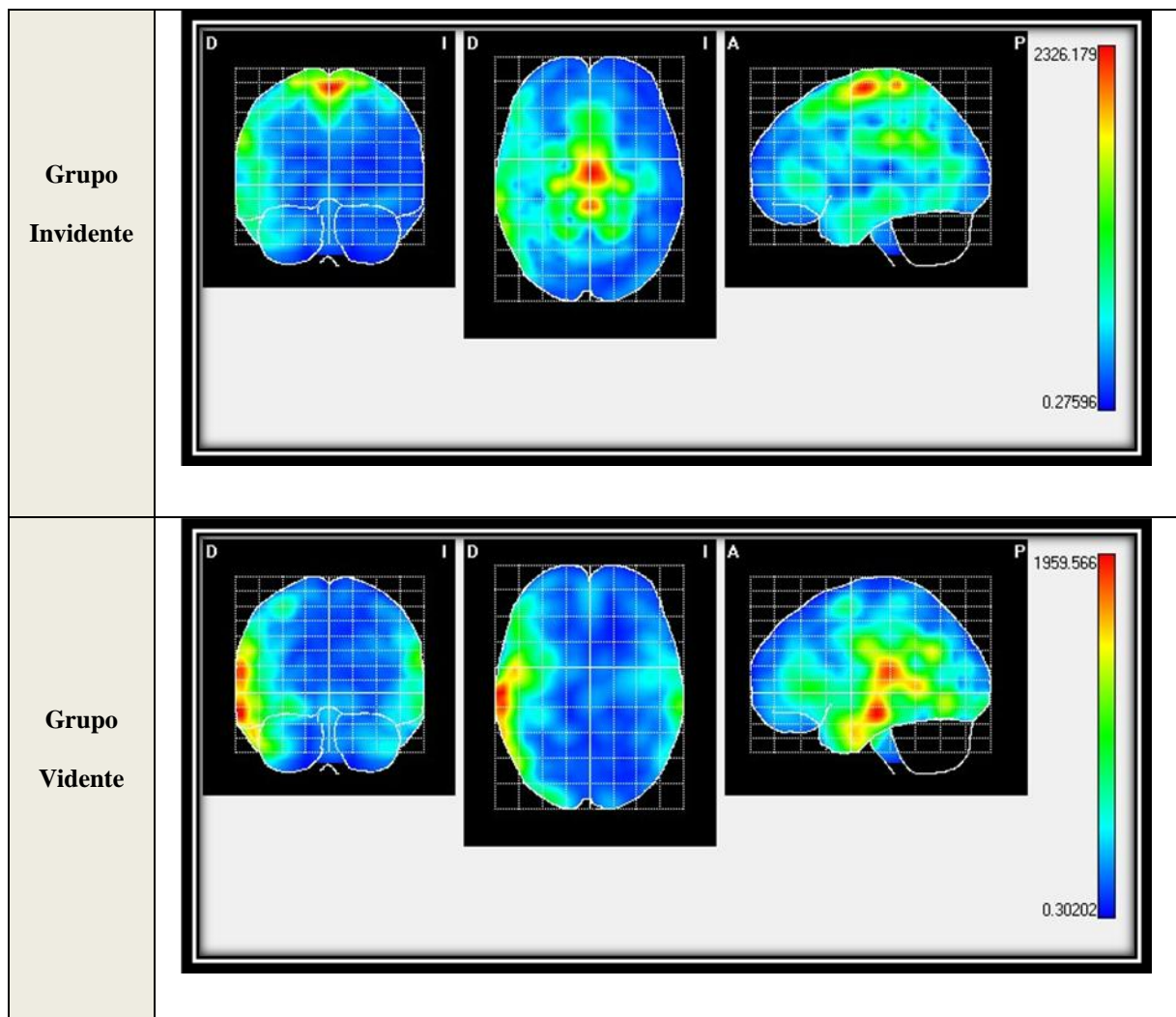
**Componente N200 de Potenciales evocados** - La actividad cerebral media más significativa durante el reconocimiento táctil de líneas en el componente N200 en el grupo invidente se localiza en el área parietal superior derecha (AB=7, X: 36, Y: -75, Z: 40, T2 Hotelling de 3146.607), mientras que en el grupo vidente se localiza en el área temporal inferior derecha (fusiforme) (AB=37, X: 57, Y: -49, Z: -16, T2 Hotelling de 463.981), área temporal media derecha, (AB=21, X: 61, Y: -42, Z: 8, T2 Hotelling de 427.356), área temporal superior derecha (AB=22, X: 63, Y: -29, Z: 12, T2 Hotelling de 430.791), área supramarginal derecha (AB=40, X: 62, Y: -34, Z: 24, T2 Hotelling de 435.490) y área precentral izquierda (AB=6, X:-52, Y: 4, Z: 40, T2 Hotelling de 410.464). Estos resultados indican que el grupo vidente utiliza múltiples áreas temporales posteriores asociadas al reconocimiento espacial y de la forma y orientación de las líneas, mientras que el grupo invidente utiliza un área parietal de reconocimiento táctil de líneas (Figura 14).



**Figura 14.-** Mapas medios de localización de fuentes mediante LORETA. Proyección de la energía bioeléctrica cerebral obtenida en ambos grupos, invidente y vidente, para el componente N200 durante el reconocimiento de líneas. Color rojo: áreas de máxima intensidad. Nivel de confianza de  $p \leq 0,05$ .

**El componente N400 de Potenciales evocados.-** La actividad cerebral media más significativa durante el reconocimiento táctil de líneas en el componente N400 en el grupo invidente se localiza en área precentral bilateral (AB=6, X:3 (-3), Y: -9, Z: 68, T2 Hotelling de 2234.071) y en área motora frontal bilateral (AB=4, X:3-2 (2), Y: -33, Z: 69, T2 Hotelling de 1832.583) mientras en el grupo vidente se localiza en área temporal media derecha, (AB=21, X: 63, Y: -20, Z: -12 T2 Hotelling de 427.356), área temporal superior derecha (AB=22, X: 63, Y: -29, Z: 12, T2 Hotelling de 430.791), área parietal superior derecha (AB=42, X: 62, Y: -9, Z: 16, T2 Hotelling de 435.490).

Estos resultados indican que el grupo vidente utiliza múltiples áreas posteriores asociadas al reconocimiento espacial y de la forma y orientación de las líneas, mientras que el grupo invidente utiliza áreas motoras y precentrales bilaterales, asociadas al reconocimiento táctil (Figura 15).

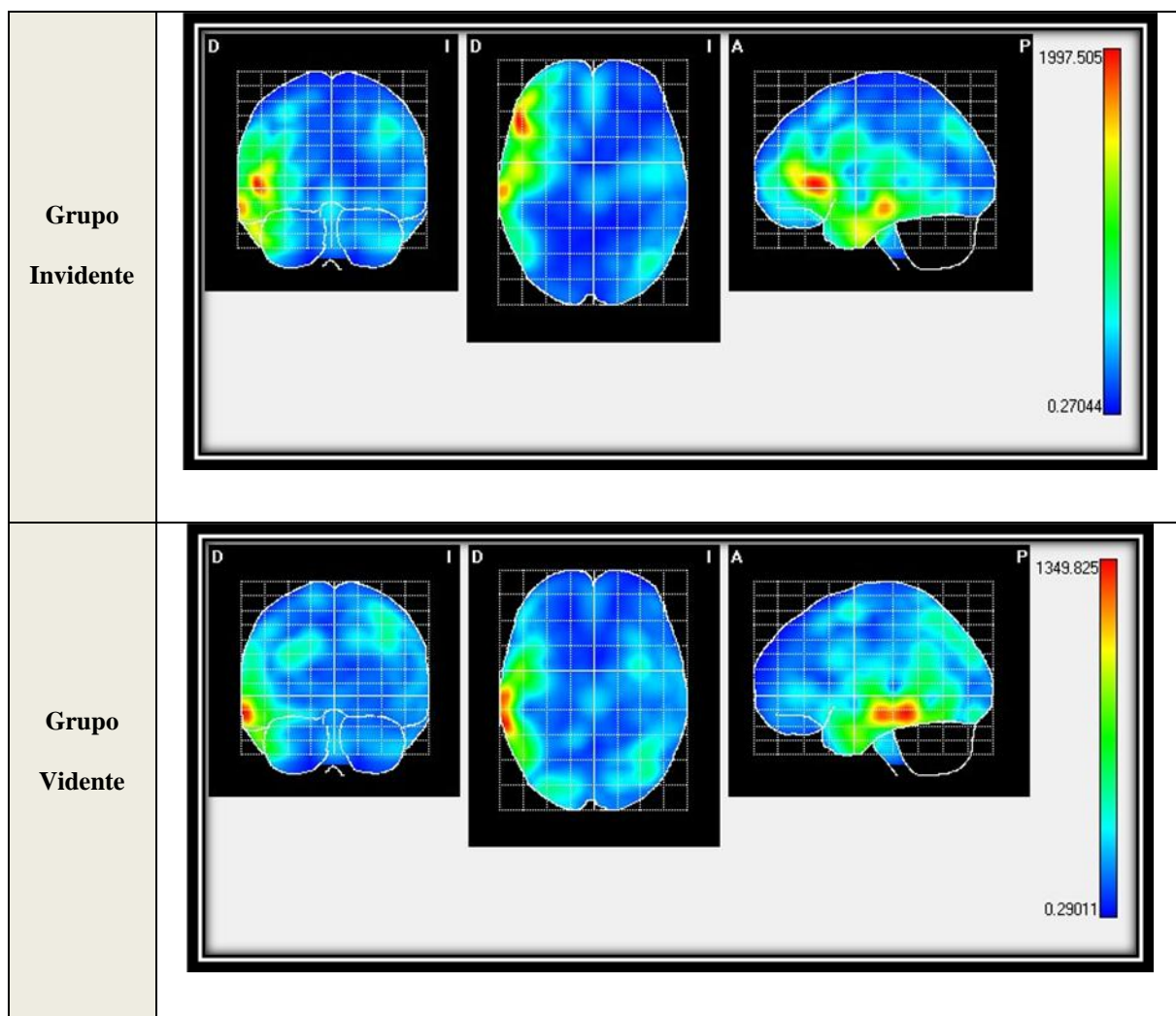


**Figura 15.-** Mapas medios de localización de fuentes mediante LORETA. Proyección de la energía bioeléctrica cerebral obtenida en ambos grupos, invidente y vidente, para el componente N400 durante el reconocimiento de líneas. Color rojo: áreas de máxima intensidad. Nivel de confianza de  $p \leq 0,05$ .

### 4.3.3.2.- Letras

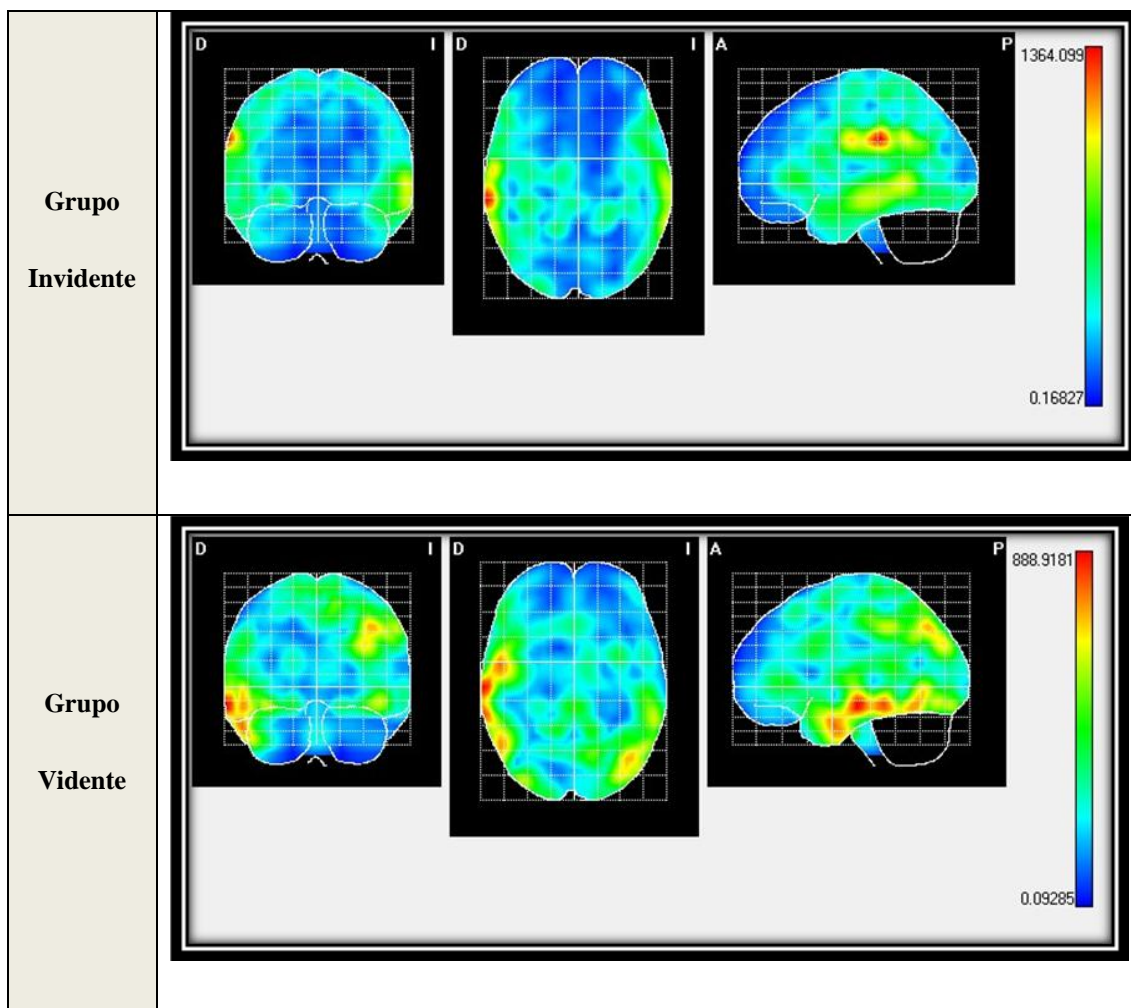
**El componente N200 de Potenciales evocados-** La actividad cerebral media más significativa durante el reconocimiento táctil de letras en el componente N200 en el grupo invidente se localiza en área frontal inferior derecha (AB=45, X: 56, Y: 26, Z: 4, T2 Hotelling de 1923.314) y área temporal media derecha, (AB=21, X: 61, Y: -42, Z: 8, T2 Hotelling de 1486.401) mientras en el grupo vidente se localiza en área temporal media derecha, (AB=21, X: 61, Y: -42, Z: 8, T2 Hotelling de 1296.401).

Estos resultados indican que el grupo vidente utiliza áreas temporales medias asociadas al reconocimiento fonológico y grafémico de letras, mientras que el grupo invidente utiliza áreas de comprensión auditiva y motora del lenguaje (Figura 16).



**Figura 16.-** Mapas medios de localización de fuentes mediante LORETA. Proyección de la energía bioeléctrica cerebral obtenida en ambos grupos, invidente y vidente, para el componente N200 durante el reconocimiento de letras. Color rojo: áreas de máxima intensidad. Nivel de confianza de  $p \leq 0,05$ .

**El componente N400 de Potenciales evocados** - La actividad cerebral media más significativa durante el reconocimiento táctil de letras en el componente N400 en el grupo invidente se localiza en área supramarginal derecha (AB=2, X: 63, Y: -30, Z: 32, T2 Hotelling de 1270.809) mientras en el grupo vidente se localiza en área temporal inferior derecha (AB=20, X: 53, Y: -3 Z: -32, T2 Hotelling de 776.672), área temporal media derecha, (AB=21, X: 61, Y: -42, Z: 8, T2 Hotelling de 800.459), área temporal inferior derecha (fusiforme) (AB=37, X: 51, Y: -58, Z: -16, T2 Hotelling de 687.476), área parietal superior izquierda (AB=39, X: -40 Y: -70, Z: 44, T2 Hotelling de 435.490). Estos resultados indican que el grupo vidente utiliza múltiples áreas posteriores asociadas al reconocimiento espacial, fonológico y grafémico de letras, mientras que el grupo invidente utiliza un área parietal de reconocimiento táctil (Figura 17).



**Figura 17.-** Mapas medios de localización de fuentes mediante LORETA. Proyección de la energía bioeléctrica cerebral obtenida en ambos grupos, invidente y vidente, para el componente N400 durante el reconocimiento de letras. Color rojo: áreas de máxima intensidad. Nivel de confianza de  $p \leq 0,05$ .



## **5.- DISCUSIÓN**

Los resultados conductuales demuestran que los niños invidentes dan respuestas mucho más rápidas, aciertan más y cometen menos errores que las del grupo de niños videntes; esto podría ser consecuencia de la experiencia táctil de los niños invidentes que es muy superior a la de los niños videntes en la discriminación táctil de objetos. Por el contrario, las latencias de los potenciales evocados N200 y N400 en el reconocimiento de letras son más largas en el grupo de niños invidentes, lo que estaría asociado a una dificultad en el reconocimiento de letras escritas puesto que ninguno de ellos sabía leer en escritura normal, al contrario de los niños videntes que todos reconocían las letras al tener un buen nivel de lectura.

Los resultados asociados a la localización de fuentes de los componentes N200 y N400 durante el reconocimiento de líneas manifiestan que el grupo vidente utiliza múltiples áreas temporales posteriores asociadas al reconocimiento de las líneas, mientras que el grupo invidente utiliza áreas parietales, responsables de procesos atencionales de reconocimiento espacial. En cambio, en el reconocimiento de letras los resultados indican que el grupo vidente utiliza áreas temporales medias asociadas al reconocimiento fonológico y grafémico de letras, mientras que el grupo invidente utiliza áreas parietales asociadas con el reconocimiento táctil.

### **Hipótesis 1 y 2**

En relación con nuestras dos primeras hipótesis en las que planteábamos que los niños invidentes tendrían tiempos de reacción mucho más cortos y más aciertos que errores que los videntes tanto a líneas como a letras como consecuencia de una mayor experiencia en el reconocimiento táctil; esta basada en diferentes trabajos científicos que justifican que el

tiempo de reacción, los aciertos y las disminución de errores están asociados a una mejora en el aprendizaje y experiencia táctil superior en el grupo de niños invidentes.

Nuestros resultados indican efectivamente que los niños invidentes tienen tiempos de reacción más cortos, más aciertos y menos errores como consecuencia de una mayor experiencia de discriminación táctil. En esta línea numerosos trabajos de investigación justifican que el rendimiento se ve beneficiado con la practica táctil asidua de los dedos, logrando así, una mejor discriminación, experiencia táctil y percepción táctil (Grant y cols., 2000; Van Boven y cols., 2000; Goldreich y Kanics, 2003; Wan y cols., 2010; Healy y cols., 2015) de invidentes con respecto a los sujetos videntes.

Sin embargo, también hemos encontrado otros estudios que sostienen que el entrenamiento de la mano a lo largo del tiempo provoca una reducción en la habilidad perceptiva táctil como consecuencia de un uso excesivo de la mano. De hecho, se comprueba que en sujetos entrenados con la mano derecha disminuyen la percepción táctil por el uso más frecuente de dicha mano en las actividades habituales de la vida diaria (Tremblay y cols., 2002; Shahbazian y cols., 2009; Hilsenrat y Reiner 2011).

Contrariamente a estos resultados, Reuter y cols. (2012) estudiaron si había un grado de disminución en la percepción táctil y háptica con el uso frecuente de los dedos en trabajo habitual específico y se encontraron que no había empobrecimiento del rendimiento en la percepción táctil. Coincidiendo con este trabajo, otros investigadores llevaron a cabo un estudio sobre la destreza clínica en la que se exigían acciones manuales rápidas de precisión y encontraron, que los sujetos entrenados tenían mejores resultados que los no entrenados con tiempos de reacción significativamente más cortos (Vieluf y cols., 2013. Meng y cols., 2015; Lin y cols., 2015).

Diferentes estudios, que han ahondado más en el campo de la lecto-escritura, comprobaron que los lectores de Braille invidentes tienen habilidades táctiles superiores en comparación con las personas con visión normal (Pascual- Leone y Torres, 1993; Van Boven y cols., 2000; Goldreich y Kanics, 2003; Frings y cols., 2006) Este rendimiento superior en la percepción táctil es probablemente debido a la extensa estimulación dependiente del uso de los dedos (Ragert y cols., 2004; Wong y cols., 2011; Frings y cols., 2011; Frisoli y cols., 2011). En nuestro caso todos los niños invidentes del estudio se encontraban practicando Braille, por lo que estos resultados estarían asociados con el logro de una habilidad de los niños invidentes para el reconocimiento táctil (Wan y cols., 2011).

En este sentido, Reuter y cols. (2014) han demostrado que la experiencia contribuye a una importante mejora en la ejecución, con más aciertos y menos errores en sujetos invidentes. Sobre la base de esta hipótesis, otros autores han demostrado que la estimulación frecuente de las puntas de los dedos induce el aprendizaje perceptivo (Ragert y cols., 2004; Wong y cols., 2011) y que los sujetos entrenados obtienen mejores resultados que los no entrenados, como se ha comprobado en personas invidentes con una clara agudeza táctil (Goldreich y Kanics, 2006; Legge y cols., 2008).

La conclusión más importante es que los niños invidentes tienen tiempos más cortos y menos errores porque tienen mucha más experiencia en la discriminación táctil, hecho que no sucede con los niños videntes que tienen muy poca o nula experiencia en la discriminación de símbolos espaciales o lingüísticos.

### **Hipótesis 3**

En relación con nuestra tercera hipótesis, en la que planteábamos que los niños invidentes tendrán latencias más cortas en el componente N200 (que es pre-léxico) y más largas en el componente N400 (que es post-léxico) que los videntes en el reconocimiento de

letras, como consecuencia de una falta de conocimiento del lenguaje normalizado escrito, nuestros resultados no reflejan diferencias significativas en el componente N200 al encontrar latencias similares en líneas y letras, mientras que en el componente N400 se aprecian diferencias significativas entre ambos grupos, siendo más corta la latencia de el componente N400 durante el reconocimiento de líneas y más larga en el reconocimiento de letras en el grupo invidente.

Los resultados tan similares asociados con la latencia del componente N200 podrían deberse al hecho de que, tanto para el grupo vidente como el invidente, era la primera vez que accedían a este tipo de estímulos y, por lo tanto, ambos tenían el mismo nivel de reconocimiento táctil de dichos estímulos así como en la ejecución de la prueba, por lo que la atención juega un factor importante. De hecho, el componente N200 está asociado con el cambio de funciones del entorno de estímulo y ha sido interpretado como una etapa de filtrado automático para la atención selectiva en sujetos videntes y ante estímulos visuales (Eimer, 1996; Luck y cols., 1997a; Girelli y Luck, 1997; Luck y Ford, 1998; Woodman y Luck, 1999; Luck y cols., 2000; Woodman y cols., 2003; Long y cols., 2015). En esta línea, informes recientes sugieren que el componente N200 se correlaciona con una conciencia graduada al estímulo y con percepción visual con actividad en la corteza visual temprana, dando lugar a experiencias visuales subjetivas (Koivisto y Grassini., 2016) en respuesta al mismo estímulo, lo que sugiere que el componente N200 puede ser precursor del componente N400 (Griffiths y cols., 2016).

La falta de experiencia de ambos grupos genera un proceso de similitud de respuestas, por lo que la atención era básica en el proceso de discriminación táctil, teniendo en cuenta que toda búsqueda puede situarse en un continuum de eficacia, rapidez y demanda de procesos de atención, dependiendo de las características y requerimientos específicos de cada tarea, siendo uno de los factores más determinantes en la eficacia de la búsqueda el

grado de similitud física existente entre los estímulos que componen la serie, tanto entre el estímulo objetivo y los estímulos distractores como entre los distractores entre sí (Wolber y Wascher, 2003). Por lo que entendemos que, en nuestro caso, la experiencia táctil en las actividades de la vida diaria de los niños invidentes no afecta a la discriminación táctil de líneas o letras en el primer procesamiento de la información asociado con el componente N200.

Creemos que el filtrado automático en procesamiento visual del componente N200 es similar al del procesamiento táctil, y al asociarse el componente N200 como un potencial temprano relacionado más con procesos atencionales que con la discriminación de estímulos espaciales, los resultados del componente N200 tan similares en ambos grupos podrían ser coherentes con esta interpretación del filtrado automático. Probablemente también ambos grupos desarrollaron procesos cognitivos específicos similares en el reconocimiento de líneas, como pueden ser la selección de respuesta y el control ejecutivo, ambos relacionados con la inhibición de la respuesta y el control de impulsos asociados al componente N200 (Luck y Hillyard, 1994).

En este sentido, se ha observado que el componente N200 humano y la actividad obtenida en registros unicelulares en el área visual (V4) en macacos, durante la realización de tareas de selección atencional, presentan un curso temporal similar (ambos efectos aparecen aproximadamente 175 msec. tras la presentación del estímulo) y experimentan variaciones de amplitud moduladas por los mismos factores (Luck, 1995; Luck y cols., 1997a; Chelazzi y cols., 1998, 2001). Justificando la importancia de los procesos atencionales en el componente N200, en un reciente trabajo llevado a cabo por nosotros (Soria-Claros y cols., 2016), encontramos que la estimulación táctil de manera sistemática, ordenada y organizada en niños con TDA puede ser efectiva para la mejora de la latencia del potencial evocado N200.

En relación con las diferencias significativas de las latencias del componente N400, comprobamos que los niños invidentes obtienen latencias más cortas en el reconocimiento de líneas. Podríamos decir que estos resultados vienen como consecuencia de una mayor capacidad de los niños invidentes en el reconocimiento de estímulos táctiles espaciales sin significado lingüístico lo que conllevaría tanto la reducción de la latencia como de la amplitud de dicha onda. En este sentido Bentin y cols. (1993,1996) relacionan la disminución de la amplitud del componente N400 con estímulos repetidos, intensidad del procesamiento, estímulos congruentes o estímulos facilitados por el contexto, los cuales requieren un acceso a la memoria o una integración menos complicada que el estímulo presentado inicialmente, lo que da lugar a una menor latencia en el reconocimiento. En la misma línea Moreno y cols. (2016) sostienen que reducciones de amplitud del componente N400 están generalmente vinculadas tanto a la expectativa en dirección de la próxima palabra como a los procesos relacionados semánticamente asociados con la congruencia y la experiencia (Romero-Rivas y cols., 2016).

Por el contrario, las latencias del componente de los PE N400 en el reconocimiento de letras son más largas en el grupo de niños invidentes, lo que estaría asociado a una dificultad en el reconocimiento cognitivo de letras por desconocimiento del alfabeto escrito normalizado. En este sentido Rugg y cols. (1988) sugieren que la amplitud del componente N400 se incrementa conforme las tareas requieren un procesamiento más complejo para la identificación y clasificación del estímulo de acuerdo con sus características abstractas respecto a las lingüísticas, más que con sus características físicas (Pritchard y cols., 1991) reflejando procesos post-léxicos de integración de significados lingüísticos o no lingüísticos (Besson y col., 1987; Rugg, 1990; Fichsler, 1990; Holcomb, 1993; Brown y cols.,2000), el contenido previo de una frase, o la palabra anterior en los experimentos de priming (Beyersmann y cols., 2014).

El componente de los PE N400 se asocia a procesos semánticos (Hata y cols., 2011; Demitrova y cols., 2012) de integración léxica y propagación de información (Deacon y Shelley-Tremblay, 2000; Coch, 2015) selectivamente más sensible al procesamiento léxico semántico (Moreno y Kutas, 2005; Zeng y cols., 2016) y se correlaciona con la actividad neuronal generada por la representación léxico semántica de las palabras (Ortells y cols., 2016) o bien, cuando los estímulos utilizados son letras inesperadas o formas geométricas en una secuencia alfabética o números inesperados en una serie numérica (Polich, 1985).

A la vista de todos estos datos, podríamos concluir que el componente N400 está relacionado con procesos semánticos, de integración léxica y clausura cognitiva del lenguaje que conlleva una organización cerebral más compleja en los niños invidentes frente a los videntes, reflejada en una mayor latencia del componente de los PE N400, dado que necesitarían mayor tiempo ante un procesamiento más completo de la información lingüística. Estos hallazgos proporcionan evidencia sólida de que el análisis léxico-semántico juega un papel crucial en la comprensión (Demitrova y cols., 2012; Zeng y cols., 2016).

Un reciente estudio sugiere que el contenido semántico puede ayudar en la reducción de procesamiento visual temprano de información y la carga de memoria posterior por unificar patrones complejos en formas familiares. El componente N400 puede estar asociado con los requisitos para el mantenimiento de la información viso-espacial sobre las formas semánticas como la orientación y la ubicación relativa (Riby y Orme, 2013).

A la vista de estos datos parece coherente que el grupo de niños invidentes demuestre una latencia más corta en el componente N400 durante el reconocimiento de líneas, con una determinada forma, orientación y espacial, en el que los requisitos lingüísticos no están presentes, donde la experiencia del grupo invidentes, en el que todos habían aprendido Braille, es muy determinante; mientras que el reconocimiento de letras alargaban la latencia

del componente N400 al ser un proceso cognitivo complejo y no tener experiencia en el conocimiento del alfabeto escrito normalizado.

#### **Hipótesis 4**

Nuestra cuarta hipótesis, en la que plateábamos que los niños invidentes organizarán la actividad cerebral de los PE (N200 y N400) en áreas posteriores parietales, responsables del reconocimiento táctil de letras; mientras que, los videntes centrarán su actividad en áreas temporales, responsables del reconocimiento fonémico de letras como consecuencia del reconocimiento de las mismas, se basaba en el proceso de aprendizaje por parte de los niños videntes de la lectura. Hemos encontrado resultados diferenciables en la organización cerebral del HD en el reconocimiento de letras tanto a nivel del componente N200 como del componente N400.

Durante el reconocimiento táctil del potencial evocado N200 nuestros resultados confirman esta hipótesis, al encontrar que los niños invidentes manifiestan una mayor activación y diferencias significativas de áreas parietales derechas en el primer procesamiento de la información en líneas; mientras que, en las letras, se activan áreas frontal y temporales derechas, responsables de los procesos atencionales y del lenguaje visual, en tanto que, en el grupo de niños videntes, se activan múltiples áreas cerebrales temporales derechas en líneas y letras, relacionadas con el lenguaje.

Estos resultados indican que, cuando el grupo vidente utiliza múltiples áreas temporales asociadas a los procesos de comprensión lingüística ante estímulos no lingüísticos, es porque quiere darle un significado, al igual que lo hace con los estímulos lingüísticos utilizando solamente áreas asociadas temporales con los mismos, mientras que, el grupo invidente, utiliza áreas parietales de reconocimiento táctil de líneas y, en cambio, áreas frontales y temporales en el de letras, con el fin de entender el estímulo como

lingüístico. Probablemente, los invidentes necesiten una mayor capacidad de atención dada su inexperiencia en la lectura escrita normalizada.

En este sentido Han y cols. (2016) encontraron mayor actividad cerebral en las regiones frontales del cerebro relacionadas con la integración y el mantenimiento de información espacial en la memoria de trabajo. Los resultados asociados con letras en ambos grupos coinciden además con otros estudios, llevados a cabo mediante el registro directo de la actividad eléctrica en los que encuentran actividad neuronal en áreas del temporal inferior de primates no humanos (macacos) asociadas con el componente N200 de los PE registrado en humanos (Luck y cols., 1997b; Chelazzi y cols., 1998,2001).

El componente N200 está relacionado con procesos pre-léxicos y filtrado automático para la atención selectiva, así como con la actividad frontal, proporcionando pruebas de una red funcional entre la corteza frontal y la posterior, por lo que podemos concluir que el componente N200 de los potenciales evocados está asociado a un proceso de clausura de información de reconocimientos de contornos del objeto, en la búsqueda visual y en la atención visual selectiva, que incidirá de forma significativa en la organización cerebral de forma diferencial en los niños invidentes frente a los videntes (Eimer, 1996; Luck y cols., 1997a, 1997b ; Girelli y Luck, 1997; Luck y Ford, 1998 ; Woodman y Luck, 1999; Luck y cols., 2000; Woodman y cols., 2003).

Parece lógico que las diferencias en áreas frontales en el grupo de invidentes se encuentren asociadas con procesos atencionales, mientras que las mayores diferencias en áreas parietales se asocien con una mayor capacidad de discriminación táctil, puesto que el niño vidente tiene que estar muy atento para poder reconocer la orientación de la línea, mientras que el niño invidente centra toda su atención en la discriminación táctil de la misma.

Recientes estudios encontraron diferencias significativas en el componente N200 en áreas temporales y parietales asociada a la atención perceptiva durante el reconocimiento táctil de letras en el grupo de niños invidentes (Soria-Claros y cols., 2016). El reconocimiento perceptivo táctil de las formas se produce cercano a los 200 milisegundos en áreas del complejo multisensorial lateral temporo-occipital (Lucan y cols., 2010). Sin embargo, durante la discriminación de letras, los niños invidentes coinciden en áreas temporales y se diferencian de los niños videntes principalmente en áreas de la circunvolución frontal media. No obstante lo dicho, el reconocimiento táctil de letras, diferente al Braille, en las personas con ceguera, es un campo muy poco estudiado (Shimizu, 1995; Sathian y Stilla, 2010) por lo que nuestros resultados son novedosos y difíciles de explicar.

Nuestros resultados demuestran que los niños invidentes, durante los procesos pre-léxicos, utilizan áreas parietales, responsables de la discriminación táctil debido a su mayor capacidad y experiencia táctil; y áreas motoras frontales, puesto que al no conocer las letras escritas activan procesos atencionales como mecanismo compensatorio, mientras que los videntes centran la mayor actividad en áreas temporales responsables del lenguaje.

En relación con el segundo procesamiento cognitivo de la información, asociado con el potencial evocado N400, en el reconocimiento de letras, los resultados indican que el grupo vidente utiliza múltiples áreas temporales y parietales posteriores asociadas al reconocimiento fonológico y espacial de letras; mientras que, el grupo invidente utiliza solamente áreas parietales de reconocimiento táctil y espacial. Los resultados de diferentes estudios mostraron que el componente N400 era un indicador de dos procesos: El primero, la expectativa que tenemos de una palabra a partir del contexto y, el segundo, la asociación semántica que una palabra guarda con la mejor terminación. Kutas y cols. (1984) sugieren que el componente N400 es un índice de la cantidad de preparación semántica o activación

que una palabra recibe del contexto que la precede. Posteriormente pueden encontrarse excelentes revisiones en Kutas y Van Petten (1994), Kutas y Fedenneier, (2000) como (Brown y cols., 2000) y (Gironell y col., 2003).

Otros estudios sugieren, sin embargo, que el componente N400 refleja procesos post-léxicos de integración de significados (Rugg, 1990) y la cantidad de recursos necesarios para integrar un nuevo significado en su contexto previo (Holcomb, 1993; Brown y cols., 2000), sea este el conocimiento general del mundo el contenido previo de una frase o la palabra (Fichsler, 1990).

El componente de los PE N400 se asocia a procesos semánticos (Hata y cols., 2011) de integración post-léxica y propagación automática de información (Deacon y Shelley-Tremblay, 2000). Es selectivamente sensible al procesamiento léxico semántico (Moreno y Kutas, 2005) y se correlaciona con la actividad neuronal generada por la representación léxico-semántica de las palabras (Ortells y cols., 2016). El componente N400 también se considera como un reflejo de la clasificación del estímulo de acuerdo con sus características abstractas respecto a las lingüísticas, más que con sus características físicas (Pritchard y Duke, 1992). Así mismo, el componente N400 se obtiene con la utilización de protocolos tanto con lenguaje escrito como hablado, independientemente de la lengua empleada (Fischler y cols., 1987; Connolly y cols., 1990; Besson y cols., 1992; Cobianchi y cols., 1997), pero no se activa cuando los estímulos son notas musicales inesperadas en una secuencia melódica (Besson y col., 1987).

Recientes estudios comprueban activación de áreas temporales posteriores y occipitales, asociadas con el reconocimiento grafémico, durante la lectura inicial de las letras Braille, además de la activación en áreas de neuronas espejo, incluyendo el surco anterior intraparietal y giro frontal inferior (Likova, 2012; Likova y cols., 2015).

Hay amplia evidencia de que las personas con ceguera congénita dependen fuertemente de la información no visual en comparación con los controles visuales en la interacción con el mundo exterior, aunque reclutan áreas occipitales al realizar diversas tareas que no son visuales con una mayor conectividad funcional entre las regiones de interés visual y áreas implicadas en el procesamiento del lenguaje táctil (braille), como la circunvolución frontal inferior (área de Broca), el tálamo, el cerebelo y el giro supramarginal (Heine y cols., 2016). Estos datos coinciden parcialmente con nuestros resultados, en los que encontramos activación del giro supramarginal solamente en el grupo de niños invidentes.

En esta línea, un reciente estudio encuentra una asociación intermodal entre la sensación táctil y la actividad parieto-occipital durante la lectura Braille mediante la lengua, llegando a la conclusión de que la sensación táctil oral se reconoce a través de sustratos transmodales táctiles / visuales en las cortezas parietal y occipital durante la discriminación de la forma por la lengua (Kagawa y cols., 2014).

A la vista de todos estos datos, podríamos concluir que el componente N400 está relacionado con procesos semánticos, de integración léxica y clausura cognitiva del lenguaje que conlleva una organización cerebral de forma diferencial en los niños invidentes frente a los videntes, de tal forma que, el grupo vidente utiliza múltiples áreas temporales posteriores asociadas al reconocimiento fonológico y grafémico de letras, mientras que, el grupo invidente utiliza áreas parietales no lingüísticas de reconocimiento táctil y espacial.

### **Asimetría cerebral durante el reconocimiento de letras**

Un aspecto interesante de estos resultados, no asociado en principio a ninguna de nuestras hipótesis, es la predominancia de la asimetría hemisférica derecha durante el reconocimiento de líneas y letras, tanto en el componente N200 como el componente N400, en ambos grupos. En un estudio previo llevado por nosotros (Soria-Claros y Ortiz, 2015), se

encontraron resultados parcialmente coincidentes con los actuales al encontrar activación del hemisferio derecho, tanto en el grupo de niños invidentes como videntes. En un reciente estudio con niños de 4 años llevado a cabo para ver el efecto del multilingüismo, se encontró que mientras el componente N200 de los potenciales evocados se localizaba bilateralmente en todos los idiomas, excepto en el portugués, el componente N400 se identificaba predominantemente en el hemisferio derecho (Ortiz y cols., 2013).

Una posible justificación de nuestros resultados podría estar asociada con la edad, puesto que durante la infancia hay una red del lenguaje menos especializada y, por esta razón, el procesamiento de estímulos lingüísticos es más bilateral o se lateraliza al hemisferio derecho, al contrario de lo que sucede en adultos, donde la actividad lingüística es predominantemente izquierda.

Otra posible explicación es que la mayor actividad del potencial evocado N400 en el hemisferio derecho, respecto al hemisferio izquierdo, pondría de manifiesto una participación preponderante del hemisferio derecho en ciertos procesos lingüísticos, por lo menos en los inicios del aprendizaje lector. Un estudio combinado de estimulación magnética transcraneal (EMT) y PE (Fuggetta y cols., 2006) ha obtenido evidencias que demuestran que la alteración, inducida mediante EMT, del mecanismo de control atencional regido por el córtex parietal posterior derecho no solo deteriora la ejecución de una tarea de búsqueda visual de conjunciones (color y orientación), sino que retrasa la aparición del componente temprano N200, que refleja la focalización de la atención en el estímulo objetivo, sobre el hemisferio derecho. Dado que, como ya se ha mencionado, el componente N200 refleja la actividad selectiva del córtex visual ventral extraestriado, que estaría bajo el control de retroalimentación procedente de áreas implicadas en procesos de control atencional de alto nivel como el córtex parietal posterior (Qu y cols., 2016, Woodman y Luck, 1999).

Diferentes estudios demostraron evidencias de conexiones cortico-corticales que permitirían el control top-down atencional del procesamiento sensorial, sugiriendo un origen neuronal del componente N200 en áreas ventrales occipito-temporales, en concreto en el córtex occipital anterior e inferotemporal posterior con retroalimentación procedente de áreas de control atencional de alto nivel como el córtex parietal posterior (Jaskowski y cols., 2002; Woldorff y cols., 2002; Schubo y cols., 2004). También se ha demostrado actividad prefrontal durante este periodo de tiempo, proporcionando pruebas de una red funcional entre las cortezas frontal y visual con la región prefrontal que media entre la información sensorial y representaciones almacenadas (Sehatpour y cols., 2006, 2008).

De hecho, estudios llevados a cabo mediante resonancia magnética funcional demuestran un proceso de similar participación en la corteza latero-occipital durante el reconocimiento somatosensorial de objetos, con la actividad prefrontal actuando como intermediario en la información coincidente entre las cortezas somatosensoriales y el área occipital lateral (Peltier y cols., 2007; Deshpande y cols., 2008, 2009; Lacey y cols., 2010). Por último, ha habido varios casos en los cuales pacientes con lesiones en la zona de la corteza occipital lateral, exhibieron agnosia de objetos, tanto táctil como visual, mientras que las capacidades de discriminación táctil orientada a objetos no fueron preservadas (Feinberg y cols., 1986; James y cols., 2002; Morín y cols., 1984; Deshpande y cols., 2010; Tal y cols., 2016).

Asimismo, se observó una mayor participación de áreas frontales medias y motoras derechas en el grupo de niños invidentes, probablemente como consecuencia de la falta de conocimiento de las letras escritas y una mayor exigencia de la memoria de trabajo. Otros resultados implican que la mayor actividad cerebral en las regiones frontales del cerebro derecho así como área somatosensorial primaria bilateral (SI) y somatosensorial secundaria (SII), premotor bilateral y áreas motoras suplementarias, circunvoluciones frontal inferior se

relacionan con la integración y el mantenimiento de información espacial en la memoria de trabajo en el reconocimiento de letras del sistema Braille (Gainotti, 2015; Han y cols., 2016, Debowska y cols., 2013).

En cambio, otros estudios llevados a cabo con sordo-ciegos comprobaron que la identificación de las palabras se asociaba con la activación robusta dentro de las regiones corticales frontales superiores y temporal inferior posterior (lateralizadas en el hemisferio izquierdo) asociadas con el lenguaje (Obretenova y cols., 2010). Estos resultados demuestran que, en el caso de la aparición temprana tanto de la privación visual como de la auditiva, la comunicación táctil se asocia con una amplia red cortical que compromete regiones occipitales, así como áreas superiores del lenguaje temporal y frontal. Las áreas corticales activadas en esta dualidad sordo-ciego son consistentes con las regiones corticales características e implicadas con el lenguaje (Obretenova y cols., 2010). En esta línea, Kielar y cols. (2016) observaron que regiones ventrales fronto-temporal se activaban con una mayor bilateralización cuando existía una anomalía semántica durante la comprensión de oraciones como consecuencia de un derrame cerebral.

A la vista de nuestros resultados, podemos inferir que en los niños videntes, se activa el HD responsable del lenguaje comprensivo visual al tratar de imaginar y comprender el significado semántico en el reconocimiento táctil de letras. Esta explicación ha sido corroborada recientemente por Schwab y cols. (2014), quienes encontraron que a mayor ideación creativa en el reconocimiento de palabras se activan áreas parietales y temporales del HD. Otra posible explicación, podría estar asociada a la novedad de la prueba y de la propia estimulación táctil, procesos relacionados al HD ya, que en otras investigaciones, se ha llegado a la misma conclusión, al encontrar una mayor actividad del componente N400 localizada predominantemente en el hemisferio derecho ante palabras novedosas e imprevisibles (Davenport y Colouson, 2013). Por otro lado, hemos encontrado que la

diferenciación del grupo de niños invidentes frente a los videntes no se da en el HD (ambos tienen activado el HD) en el área parietal asociada al reconocimiento espacial táctil, lo que estaría asociado a una dificultad en el reconocimiento del concepto semántico de la letra por desconocimiento del alfabeto escrito normalizado, resultando una tarea difícil (reconocer sin antes conocer) por carecer de una representación interna de la letra, no contando con los recursos necesarios para dar respuesta a las características de abstracción lingüística. Tanto los niños videntes como invidentes, manejan parámetros neurofuncionales asociados al hemisferio derecho, independientemente del contenido, sea letra o línea, vinculando la información con áreas supramodales del hemisferio derecho, responsables de los procesos cognitivos espaciales lingüísticos, en el caso de reconocimiento de letras.

Concluyendo, podríamos decir que nuestros resultados en esta presente tesis doctoral indican que los niños invidentes obtienen diferencias significativas con respecto al grupo vidente, con medias inferiores en los tiempos de reacción, con mayor número de aciertos y menor número de errores, tanto en líneas como en letras. Consideramos que la experiencia es determinante en el grupo invidente al saber leer Braille, aportándole una clara agudeza en la discriminación táctil de formas y orientación espacial, mientras que los niños videntes tienen muy poco o nula experiencia en la discriminación de símbolos espaciales o lingüísticos. Sin embargo, durante el reconocimiento de letras en el componente N400, que está relacionado con procesos semánticos, de integración léxica, los resultados en las latencias son estadísticamente mayores para los niños invidentes, como consecuencia de la falta de conocimiento del lenguaje lector normalizado. En ambos grupos se activan áreas del HD; en los niños invidentes activan parietales asociados al reconocimiento táctil y se amplía al circuito cortical a áreas motoras frontales responsables del lenguaje motor, mientras que en los videntes se confirma la actividad en áreas temporales posteriores asociadas a los procesos de comprensión lingüística. Una explicación plausible sería que la activación del HD, en ambos grupos, podría deberse por un lado a los aspectos novedosos del estímulo y la prueba

y, por otro, a la imaginación, la innovación y el pensamiento creativo previo al reconocimiento de los estímulos táctiles. En esta línea de pensamiento, Monsalve y Cuetos, (2001) encontraron que palabras frecuentes y de alta imaginabilidad tienen una mayor riqueza de conexiones y están distribuidas especialmente en áreas del HD, mientras que las palabras abstractas y de baja imaginabilidad son más pobres en conexiones, y parecen estar confinadas al hemisferio izquierdo, puramente lingüístico.

En síntesis, hemos de manifestar que son las carencias de los sujetos invidentes las que nos han llevado a plantearnos qué herramientas son las más adecuadas para responder a tales necesidades. Los invidentes, en sus entornos familiares, escolares y sociales están sujetos a la dependencia de terceras personas, perros lazarillos y bastones para realizar múltiples funciones. Si bien es cierto que las aportaciones de la lectura Braille, como sistema táctil activo, supusieron un gran avance en la interrelación de las personas invidentes con la información exterior, es insuficiente ante las demandas del entorno.

Hoy en día, la tecnología nos provee de distintos avances, en continuo desarrollo y mejora, capaces de transmitir gran parte de la información exterior que circunda a los invidentes y que éstos sean capaces de percibirla, interpretarla y “verla”, de un modo análogo a la visión que perciben los videntes. Entre los distintos avances técnicos, la presente tesis se ha centrado en el reconocimiento táctil pasivo, mediante el uso de un dispositivo de videocámara cuya información es debidamente elaborada y transmitida a un estimulador táctil ubicado en la palma de la mano del invidente, el cual al percibir los estímulos generados, es capaz de interpretar, con el debido entrenamiento, el contenido de tales señales.

Los estímulos percibidos mediante el sistema anteriormente indicado, basados en la estimulación táctil pasiva, constituyen un modo de recepción de la información de manera global e instantánea, al igual que la visión normal, que permite al sujeto invidente

desenvolverse espacialmente y realizar al mismo tiempo distintas tareas, a diferencia de los sistemas táctiles activos en los cuales los modos de reconocimiento son parciales, incompletos y lentos y requieren prácticamente la máxima atención por parte del invidente.

Diversas investigaciones científicas han acreditado que mediante el sistema de estimulación táctil pasiva, la información generada y percibida de este modo por los invidentes, llega a activar las áreas occipitales del cerebro, responsables de la visión, permitiendo que con un entrenamiento regular y repetitivo el reconocimiento se realice en milisegundos de un modo completo.

Por lo tanto, podríamos considerar que esta “visión táctil” supone una nueva forma de reconocimiento espacial que, a nuestro juicio, pueden dar respuesta efectiva a las necesidades reales de los invidentes.

Son precisamente estas carencias de los sujetos invidentes, aún no solventadas, las que han constituido la razón y motivación del presente trabajo y elaboración de tesis, con el convencimiento de que en esta línea de investigación se abrirán nuevos horizontes para los invidentes.

## **6.- CONCLUSIONES**

**1.-** Los niños invidentes manifiestan diferencias significativas frente al grupo de niños videntes, con medias inferiores en los tiempos de reacción en el reconocimiento de líneas y de letras como consecuencia de una mayor experiencia táctil.

**2.-** Los niños invidentes manifiestan diferencias significativas con el grupo de niños videntes al conseguir un mayor número de aciertos y un menor número de errores tanto en la prueba de líneas como en la de letras debido a que han utilizado más el sistema táctil para reconocimiento de actividades de la vida diaria.

**3.-** Las diferencias significativas en el componente de los PE N400 durante el reconocimiento de letras con una latencia más alargada para el grupo de niños invidentes se deben a las dificultades cognitivas lingüísticas como consecuencia de la falta de conocimiento del lenguaje escrito normalizado.

**4.-** El grupo de niños invidentes manifiesta una mayor actividad parietal, asociada al reconocimiento táctil que se amplía al circuito cortical frontal, responsable del lenguaje motor; mientras que, los niños videntes activan más áreas temporales, responsables del lenguaje comprensivo. Estos datos se justifican por el conocimiento del lenguaje escrito normalizado del grupo de niños videntes.

**5.-** Existe una predominancia de la asimetría hemisférica derecha durante el reconocimiento de letras, tanto en el componente N200 como en el componente N400, en ambos grupos, contrastando con la predominancia del HI en el lenguaje. Esto es debido principalmente a la capacidad de imaginación ante estímulos táctiles novedosos.



## 7.- BIBLIOGRAFÍA

1. Allen HA, Humphreys GW, Colin J, Neumann H. *Ventral extra-striate cortical areas are required for human visual texture segmentation.* J Vis. 2009; 9:2.1-14.
2. Amedi A, Malach R, Hendler T, Peled S, Zohary E. *Visuo-haptic object-related activation in the ventral visual pathway.* Nat Neurosci. 2001; 4: 324-30.
3. Amedi A, Raz N, Pianka P, Malach R, Zohary E. *Early 'visual' cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind.* Nat Neurosci. 2003; 6:758–66.
4. Amedi A, Floel A, Knecht S, Zohary E, Cohen LG. *Transcranial magnetic stimulation of the occipital pole interferes with verbal processing in blind subjects.* Nat Neurosci. 2004; 7:1266-70.
5. Amedi A, Stern WM, Camprodon JA, Bermpohl F, Merabet L, Hemond C, Meijer P, Pascual-Leone A. *Shape conveyed by visual-to-auditory sensory substitution activates the lateral occipital complex.* Nat Neurosci. 2007; 10:687-9.
6. Amedi A, Raz N, Azulay H, Malach R, Zohary E. *Cortical activity during tactile exploration of objects in blind and sighted humans.* Restor Neurol Neurosci. 2010; 28:143-56.
7. Bach-y-Rita P, Collins CC, Saunders F, White B, Scadden L. *Vision substitution by tactile image projection.* Trans Pac Coast Otoophthalmol Soc Annu Meet. 1969; 50:83-91.
8. Bach-y-Rita P, Kaczmarek K, Tyler ME, Garcia-Lara J. *Form perception with a 49-point electro tactile stimulus array on the tongue.* J. Rehabil. Res. Develop. 1998; 35: 427-430.
9. Bach-y-Rita P, Kercel SW. *Sensory substitution and the human-machine interface.* Trends in Cognitive Sciences. 2003; 12:541–546.
10. Bavelier D, Neville HJ. *Cross-modal plasticity: where and how?* Nature Reviews. Neuroscience. 2002; 3:443-52.
11. Bedny M, Pascual-Leone A, Saxe RR. *Growing up blind does not change the neural bases of theory of mind.* Proc Natl Acad Sci U S A. 2009; 106:11312-7.
12. Bedny M, Pascual-Leone A, Dodell-Feder D, Fedorenko E, Saxe R. *Language processing in the occipital cortex of congenitally blind adults.* Proc Natl Acad Sci US A. 2015; 108: 4429-34.
13. Bedny M, Pascual-Leone A, Dravida S, Saxe R. *A sensitive period for language in the visual cortex: distinct patterns of plasticity in congenitally versus late blind adults.* Brain Lang. 2012; 122:162-70.
14. Bedny M, Richardson H, Saxe R. *Visual Cortex Responds to Spoken Language in Blind Children.* J Neurosci. 2015; 35:11674-81.
15. Bentin S, Kutas M, Hillyard SA. *Electrophysiological evidence for task effects on semantic priming in auditory word processing.* Psychophysiology. 1993; 30: 161-169.
16. Bentin S, Allison T, Puce A, Perez E, McCarthy G. *Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans.* J Cogn Neurosci. 1996; 8: 551-565.
17. Besson M, Macar F. *An event-related potential analysis of incongruity in music and other non-linguistic contexts.* Psychophysiology. 1987; 24: 14-25.
18. Besson MM, Kutas M, Petten CV. *An Event-Related Potential (ERP) Analysis of Semantic Congruity and Repetition Effects in Sentences.* J Cogn Neurosci. 1992; 4:132-49.
19. Beyersmann E, Iakimova G, Ziegler JC, Colé P. *Semantic processing during morphological priming: an ERP study.* Brain Res. 2014; 1579:45-55.

20. Bolton DA, Staines WR. *Transient inhibition of the dorsolateral prefrontal cortex disrupts attention-based modulation of tactile stimuli at early stages of somatosensory processing*. *Neuropsychologia*. 2011; 49:1928-37.
21. Boroojerdi B, Bushara KO, Corwell B, Immisch I, Battaglia F, Muellbacher W, Cohen LG. *Enhanced excitability of the human visual cortex induced by short-term light deprivation*. *Cerebral Cortex*. 2000; 10:529-534.
22. Brown CM, Hagoort P, Chwilla DJ. *An event-related brain potential analysis of visual word priming effects*. *Brain Lang*. 2000; 72: 158-90.
23. Burton H, Snyder AZ, Conturo TE, Akbudak E, Ollinger JM, Raichle ME. *Adaptive changes in early and late blind: a fMRI study of Braille reading*. 2002; 87:589-607.
24. Burton H, Snyder AZ, Diamond JB, Raichle ME. *Adaptive changes in early and late blind: a FMRI study of verb generation to heard nouns*. *Journal of Neurophysiology*. 2002; 88: 3359-71.
25. Burton H, Diamond JB, Mc Dermott KB. *Dissociating cortical regions activated by semantic and phonological tasks: a FMRI study in blind and sighted people*. *J Neurophysiol*. 2003; 90:1965-82.
26. Burton H, Sinclair RJ, McLaren DG. *Cortical activity to vibrotactile stimulation: an fMRI study in blind and sighted individuals*. *Human Brain Mapping*. 2004; 23: 210-228.
27. Burton H, McLaren DG, Sinclair RJ. *Reading embossed capital letters: an fMRI study in blind and sighted individuals*. *Hum Brain Mapp*. 2006; 27: 325-39.
28. Burton H, Agato A, Sinclair RJ. *Repetition learning of vibrotactile temporal sequences: an fMRI study in blind and sighted individuals*. *Brain Res*. 2012; 1433:69-79.
29. Burton H, Sinclair RJ, Agato A. *Recognition memory for Braille or spoken words: an fMRI study in early blind*. *Brain Res*. 2012; 1438:22-34.
30. Carbonell F, Galan L, Valdes P, Worsley K, Biscay RJ, Diaz-Comas L. *Random field-union intersection tests for EEG/MEG imaging*. *NeuroImage*. 2004; 22:268-76.
31. Carretié L, Iglesias J. *Psicofisiología*. Madrid: Pirámide; 1995.
32. Cattaneo Z, Vecchi T, Cornoldi C, Mammarella I, Bonino D, Ricciardi E, Pietrini P. *Imagery and spatial processes in blindness and visual impairment*. *Neurosci Biobehav Rev*. 2008; 32:1346-60.
33. CIE-10 Capítulo VII: *Enfermedades del ojo y sus anexos*. Actualización; 2013.
34. Cobianchi A, Giaquinto S. *Event-related potentials to Italian spoken words*. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1997; 104:213-21.
35. Coch D. *The N400 and the fourth grade shift*. *Dev Sci*. 2015; 18:254-69.
36. Cohen LG, Celnik P, Pascual-Leone A, Corwell B, Falz L, Dambrosia J, Honda M, Sadato N, Gerloff C, Catalá MD, Hallett M. *Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans*. *Nature*. 1997; 389:180-3.
37. Cohen LG, Weeks RA, Sadato N, Celnik P, Ishii K, Hallett M. *Period of susceptibility for cross-modal plasticity in the blind*. *Ann Neurol*. 1999; 45:451-60.
38. Coles MGH, Rugg MD. *Event-related brain potentials: An introduction*. En Rugg MD, Coles MG. (Eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-related Brain Potentials and Cognition*. New York: Oxford University Press. 1995. 1-26.
39. Collignon O, Renier L, Bruyer R, Tranduy D, Veraart C. *Improved selective and divided spatial attention in early blind subjects*. *Brain Res*. 2006; 1075:175-82.

40. Collignon O, Lassonde M, Lepore F, Bastien D, Veraart C. *Functional cerebral reorganization for auditory spatial processing and auditory substitution of vision in early blind subjects*. Cereb Cortex. 2007; 17:457-65.
41. Collignon O, Dormal G, Albouy G, Vandewalle G, Voss P, Phillips C, Lepore F. *Impact of blindness onset on the functional organization and the connectivity of the occipital cortex*. Brain. 2013; 136: 2769-83.
42. Collignon O, Dormal G, De Heering A, Lepore F, Lewis TL, Maurer D. *Long-Lasting Crossmodal Cortical Reorganization Triggered by Brief Postnatal Visual Deprivation*. Curr Biol. 2015; 25:2379-83.
43. Connolly JF, Stewart SH, Phillips NA. *The effects of processing requirements on neurophysiological responses to spoken sentences*. Brain Lang. 1990; 39:302-18.
44. Cooke SF, Bear MF. *How the mechanisms of long-term synaptic potentiation and depression serve experience-dependent plasticity in primary visual cortex*. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2014; 369:20130284.
45. Cornoldi C, Bertuccelli B, Rocchi P, Sbrana B. *Processing capacity limitations in pictorial and spatial representations in the totally congenitally blind*. Cortex 1993; 29: 675-89.
46. Coullon GS, Jiang F, Fine I, Watkins KE, Bridge H. *Subcortical functional reorganization due to early blindness*. J Neurophysiol. 2015; 113:2889-99.
47. Cowey A. *Visual system: how does blindsight arise?* Curr Biol. 2010; 20:702-4.
48. Chelazzi L, Duncan J, Miller EK, Desimone R. *Responses of neurons in inferior temporal cortex during memory-guided visual search*. J Neurophysiol. 1998; 80: 2918-40.
49. Chelazzi L, Miller EK, Duncan J, Desimone R. *Responses of neurons in macaque area V4 during memory-guided visual search*. Cereb Cortex. 2001; 11: 761-72.
50. Davenport T, Coulson S. *Hemispheric asymmetry in interpreting novel literal language: an event-related potential study*. Neuropsychologia. 2013; 51: 907-21.
51. Deacon D, Shelley-Tremblay J. *How automatically is meaning accessed: a review of the effects of attention on semantic processing?* Front Biosci. 2000; 5:82-94.
52. De Beni R, Cornoldi C. *Imagery limitations in totally congenitally blind subjects*. J Exp Psychol Learn Mem Cogn. 1988; 14: 650-5.
53. Dehaene S, Cohen L, Sigman M, Vinckier F. *The neural code for written words: a proposal*. Trends Cogn Sci. 2005; 9:335-41.
54. Dehaene S, Pegado F, Braga LW, Ventura P, Nunes Filho G, Jobert A, Dehaene-Lambertz G, Kolinsky R, Morais J, Cohen L. *How learning to read changes the cortical networks for vision and language*. Science. 2010; 330:1359-64.
55. Dehaene S, Cohen L. *The unique role of the visual word form area in reading*. Trends Cogn Sci. 2011; 15:254-62.
56. Deshpande G, Hu X, Stilla R, Sathian K. *Effective connectivity during haptic perception: a study using Granger causality analysis of functional magnetic resonance imaging data*. Neuroimage. 2008; 40:1807-14.
57. Deshpande G, LaConte S, Peltier S, Hu X. *Integrated local correlation: a new measure of local coherence in fMRI data*. Hum Brain Mapp. 2009; 30:13-23.
58. Deshpande G, Hu X, Lacey S, Stilla R, Sathian K. *Object familiarity modulates effective connectivity during haptic shape perception*. Neuroimage. 2010; 49: 1991-2000.

59. Desmedt JE, Huy NT, Bourguet M. *The cognitive P40, N60 and P100 components of somatosensory evoked potentials and the earliest electrical signs of sensory processing in man.* *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1983; 56:272-82.
60. Desmedt JE, Chalklin V. *New method for titrating differences in scalp topographic patterns in brain evoked potential mapping.* *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1989; 74:359-66.
61. De Volder AG, Bol A, Blin J, Robert A, Arno P, Grandin C, Michel C, Veraart C. *Brain energy metabolism in early blind subjects: neural activity in the visual cortex.* *Brain Research.* 1997; 50: 235-244.
62. Debowska W, Wolak T, Soluch P, Orzechowski M, Kossut M. *Design and evaluation of an innovative MRI-compatible Braille stimulator with high spatial and temporal resolution.* *J Neurosci Methods.* 2013; 213: 32-8.
63. Dimitrova DV, Stowe LA, Redeker G, Hoeks JC. *Less is not more: neural responses to missing and superfluous accents in context.* *J Cogn Neurosci.* 2012; 24: 2400-18.
64. Di Russo F, Spinelli D. *Effects of sustained, voluntary attention on amplitude and latency of steady-state visual evoked potential: a costs and benefits analysis.* *Clin Neurophysiol.* 2002; 113: 1771-7.
65. Doniger GM, Foxe JJ, Murray MM, Higgins BA, Snodgrass JG, Schroeder CE, Javitt DC. *Activation timecourse of ventral visual stream object-recognition areas: high density electrical mapping of perceptual closure processes.* *J Cogn Neurosci.* 2000; 12: 615-21.
66. Doniger GM, Foxe JJ, Schroeder CE, Murray MM, Higgins BA, Javitt DC. *Visual perceptual learning in human object recognition areas: a repetition priming study using high-density electrical mapping.* *Neuroimage.* 2001; 13: 305-13.
67. Eggermont JJ, Ponton C W. *The neurophysiology of auditory perception: From single units to evoked potentials.* *Audiology & Neuro-Otology.* 2002; 7: 71-99.
68. Eimer M. *The N2pc component as an indicator of attentional selectivity.* *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1996; 99: 225-34.
69. Evans AC, Collins DL, Mills SR, Brown ED, Kelly RL, Peters TM. *3D statistical neuroanatomical models from 305 MRI volumes. Proc. IEEE- Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference. London M.T.P. Press.* 1993; 95: 1813-1817.
70. Facchini S, Aglioti SM. *Short term light deprivation increases tactile spatial acuity in humans.* *Neurology.* 2003; 60: 1998-1999.
71. Feldman DE, Brecht M. *Map plasticity in somatosensory cortex.* 2005; 310: 810-5.
72. Feinberg DA, Hale JD, Watts JC, Kaufman L, Mark A. *Halving MR imaging time by conjugation: demonstration at 3.5 kG.* *Radiology.* 1986; 161: 527-31.
73. Fernández E, Ochaíta E, Rosa A. *Memoria a corto plazo y modalidad sensorial en sujetos invidentes y videntes: Efectos de la similitud auditiva y táctil.* *Infancia y Aprendizaje.* 1988; 41: 63-77.
74. Fischler I, Jin YS, Boaz TL, Perry NW Jr, Childers DG. *Brain potentials related to seeing one's own name.* *Brain Lang.* 1987; 30: 245-62.
75. Fichsler I. *Event-related brain potentials.* New York: Oxford University Press; 1990.
76. Foxe JJ, Schroeder CE. *The case for feedforward multisensory convergence during early cortical processing.* *Neuroreport.* 2005; 16: 419-23.
77. Friederici AD. *Neurophysiological markers of early language acquisition: from syllables to sentences.* *Trends Cogn Sci.* 2005; 9: 481-8.

78. Frings M, Maschke M, Gerwig M, Diener HC, Timmann D. *Acquisition of simple auditory and visual sequences in cerebellar patients.* Cerebellum. 2006; 5: 206-11.
79. Frings C, Bermeitinger C, Gibbons H. *Prime retrieval of motor responses in negative priming: evidence from lateralized readiness potentials.* Brain Res. 2011; 1407:69-78.
80. Frisoli A, Solazzi M, Reiner M, Bergamasco M. *The contribution of cutaneous and kinesthetic sensory modalities in haptic perception of orientation.* Brain Res Bull. 2011; 85: 260-6.
81. Frot M, Mauguière F. *Timing and spatial distribution of somatosensory responses recorded in the upper bank of the sylvian fissure (SII area) in humans.* Cereb Cortex. 1999; 9: 854-63.
82. Fuggetta G, Pavone EF, Walsh V, Kiss M, Eimer M. *Cortico-cortical interactions in spatial attention: A combined ERP/TMS study.* J Neurophysiol. 2006; 95: 3277-80.
83. Fujii T, Tanabe HC, Kochiyama T, Sadato N. *An investigation of cross-modal plasticity of effective connectivity in the blind by dynamic causal modeling of functional MRI data.* Neuroscience Research. 2009; 65: 175-186.
84. Gainotti G. Lower- and higher-level models of right hemisphere language. *A selective survey.* Funct Neurol. 2015; 12: 1-7.
85. Ganushchak LY, Christoffels IK, Schiller NO. *The use of electroencephalography in language production research: a review.* Front Psychol. 2011; 1; 2:208.
86. Ghazanfar AA, Schroeder CE. *Is neocortex essentially multisensory?* Trends Cogn Sci. 2006; 10: 278-85.
87. Gheusi G, Rochefort C. *Neurogenesis in the adult brain.* Functional consequences. 2002; 196:67-76.
88. Girelli M, Luck SJ. *Are the same attentional mechanisms used to detect visual search targets defined by color, orientation, and motion?* J Cogn Neurosci. 1997; 9: 238-53.
89. Gironell A, Kulisevsky J, Roig C, Pascual-Sedano B, Rodríguez-Fornells A, Otermin P. *Diagnostic potential of acoustic startle reflex, acoustic blink reflex, and electro-oculography in progressive supranuclear palsy: a prospective study.* Mov Disord. 2003; 18:1273-9.
90. Goldreich D, Kanics IM. *Tactile acuity is enhanced in blindness.* J Neurosci. 2003; 23:3439-45.
91. Goldreich D, Kanics IM. *Performance of blind and sighted humans on a tactile grating detection task.* Percept Psychophys. 2006; 68:1363-71.
92. Gordon KA, Jiwani S, Papsin BC. *What is the optimal timing for bilateral cochlear implantation in children?* Cochlear Implants International. 2011; 12: 8-14.
93. Gougoux F, Robert J, Zatorre RJ, Lassonde M, Voss PM, Lepore FA. *Functional Neuroimaging Study of Sound Localization: Visual Cortex Activity Predicts Performance in Early-Blind Individuals.* PLOS Biology. 2005. 3: 0324-0334.
94. Gougoux F, Belin P, Voss P, Lepore F, Lassonde M, Zatorre RJ. *Voice perception in blind persons: a functional magnetic resonance imaging study.* 2009; 47: 2967-74.
95. Grafman, J. *Conceptualizing functional neuroplasticity.* Journal of Communication Disorders. 2000, 33 (4):345–356.
96. Grant AC, Thiagarajah MC, Sathian K. *Tactile perception in blind Braille readers: a psychophysical study of acuity and hyperacuity using gratings and dot patterns.* Percept Psychophys. 2000; 62: 301-12.
97. Greenwood RS, Parent JM. *Damage control: the influence of environment on recovery from brain injury.* Neurology. 2002. 12; 59(9): 1302-1303.
98. Griffiths O, Le Pelley ME, Jack BN, Luque D, Whitford TJ. *Cross-modal symbolic processing can elicit either an N2 or a protracted N2/N400 response.* Psychophysiology. 2016; 53: 1044-53.

99. Haggard P, Christakou A, Serino A. *Viewing the body modulates tactile receptive fields*. Exp Brain Res. 2007; 180:187-93.
100. Hamilton RH, Pascual-Leone A. *Cortical plasticity associated with Braille learning*. Trends Cogn Sci. 1998; 2: 168-74.
101. Hamilton R, Keenan JP, Catala M, Pascual-Leone, A. *Alexia for Braille following bilateral occipital stroke in an early blind woman*. Neuroreport. 2000; 11: 237-40.
102. Hamilton RH, Pascual Leone A, Schlaug G. *Absolute pitch in blind musicians*. Neuroreport. 2004; 15:803-6.
103. Han J, Cao B, Cao Y, Gao H, Li F. *The role of right frontal brain regions in integration of spatial relation*. Neuropsychologia. 2016; 86:29-37.
104. Hannagan T, Amedi A, Cohen L, Dehaene-Lambertz G, Dehaene S. *Origins of the specialization for letters and numbers in ventral occipitotemporal cortex*. Trends Cogn Sci. 2015; 19:374-82.
105. Harris JA, Miniussi C, Harris IM, Diamond ME. *Transient storage of a tactile memory trace in primary somatosensory cortex*. J Neurosci. 2002; 22:8720-5.
106. Hata M, Homae F, Hagiwara H. *Semantic relatedness between words in each individual brain: an event-related potential study*. Neurosci Lett. 2011; 501: 72-7.
107. Healy GF, Boran L, Smeaton AF. *Neural Patterns of the Implicit Association Test*. Front Hum Neurosci. 2015; 9:605.
108. Hebb D.O: *The Organization of Behavior*, Wiley: New York; 1949. Morris RG. Brain Res Bull. 1999; 50: 437.
109. Heine B. *On the role of context in language evolution: Comment on "Towards a computational comparative neuroprimatology: Framing the language-ready brain" by M.A. Arbib*. Phys Life Rev. 2016; 16:77-9.
110. Hilsenrat M, Reiner M. *The impact of subliminal haptic perception on the preference discrimination of roughness and compliance*. Brain Res Bull. 2011; 85: 267-70.
111. Hillyard SA, Woldorff M, Mangun GR, Hansen JC. *Mechanisms of early selective attention in auditory and visual modalities*. Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl. 1987; 39:317-24.
112. Hillyard SA, Störmer VS, Feng W, Martinez, A, McDonald JJ. *Cross-modal orienting of visual attention*. Neuropsychologia. 2016; 83:170-8. 2015.06.003.
113. Holcomb PJ. *Semantic priming and stimulus degradation: implication for the role of the N400 in language processing*. Psychophysiology. 1993; 30: 47-61.15.
114. James TW, Humphrey GK, Gati JS, Servos P, Menon RS, Goodale MA. *Haptic study of three-dimensional objects activates extrastriate visual*. Neuropsychologia. 2002; 40(10):1706-14.
115. James TW, Shima DW, Tarr MJ, Gauthier I. *Generating complex three-dimensional stimuli (Greebles) for haptic expertise training*. Behav Res Methods. 2005; 37:353-8.
116. Jaśkowski P, van der Lubbe RH, Schlotterbeck E, Verleger R. *Traces left on visual selective attention by stimuli that are not consciously identified*. Psychol Sci. 2002; 13:48-54.
117. Jones LA. *Tactile communication systems optimizing the display of information*. Prog Brain Res. 2011; 192:113-28.
118. Kagawa T, Narita N, Iwaki S, Kawasaki S, Kamiya K, Minakuchi S. *Does shape discrimination by the mouth activate the parietal and occipital lobes? - near-infrared spectroscopy study*. PLoS One. 2014; 9(10):108685.

119. Kanske P, Kotz SA. *Positive emotion speeds up conflict processing: ERP responses in an auditory Simon task*. Biol Psychol. 2011; 87:122-7.
120. Karlen SJ, Kahn DM, Krubitzer L. *Early blindness results in abnormal corticocortical and thalamocortical connections*. Neuroscience. 2006; 142:843-58.
121. Kielar A, Deschamps T, Jokel R, Meltzer JA. *Functional reorganization of language networks for semantics and syntax in chronic stroke: Evidence from MEG*. Hum Brain Mapp. 2016; 4: 19.
122. Kirtley DD. *The psychology of blindness*. Chicago: Nelson-Hall. 1975.
123. Klinge C, Eippert F, Röder B, Büchel C. *Corticocortical connections mediate primary visual cortex responses to auditory stimulation in the blind*. J Neurosci. 2010; 30: 12798-805.
124. Koivisto M, Grassini S. *Neural processing around 200ms after stimulus-onset correlates with subjective visual awareness*. Neuropsychologia. 2016; 84: 235-43.
125. Kupers RA, Fumal A, de Noordhout AM, Gjedde J, Schoenen J, Ptito M. *Transcranial magnetic stimulation of the visual cortex induces somatotopically organized qualia in blind subjects*. Proc Natl Acad USA. 2006; 103 (35):13256-13260.
126. Kupers R, Pappens M, de Noordhout AM, Schoenen J, Ptito M, Fumal A. *rTMS of the occipital cortex abolishes Braille reading and repetition priming in blind subjects*. Neurology. 2007; 68:691-3.
127. Kupers R, Pietrini P, Ricciardi E, Ptito M. *The nature of consciousness in the visually deprived brain*. Front Psychol. 2011; 2:1-14.
128. Kutas M, Hillyard SA. *Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity*. Science. 1980; 207(4427):203-5.
129. Kutas M, Lindamood T, Hillyard SA. *Word expectancy and event-related brain potentials during sentence processing*. En S. Komblum & J. Roquin (Eds.), *Preparatory states and processes*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. 1984. 217-238.
130. Kutas M, Hillyard SA. *Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association*. Nature. 1984. (307): 161-163.
131. Kutas M, Van Petten C. *Psycholinguistics electrified: Event-related brain potential investigations*. En M. A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics*. San Diego, CA: Academic Press. 1994. (Pp.83-143).
132. Kutas H, Dale A. *Electrical and magnetic readings of mental functions*. En M. D. Rugg (Ed.), *Cognitive neuroscience* Hove East Sussex, UK: Psychology Press. 1997(pp. 197-242).
133. Kutas M, Federmeier KD. *Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension* Trends in Cognitive Sciences. 2000; 12 (4):463-470.
134. Lacey S, Flueckiger P, Stilla R, Lava M, Sathian K. *Object familiarity modulates the relationship between visual object imagery and haptic shape perception*. Neuroimage. 2010; 49:1977-90.
135. Ladouceur CD, Dahl RE, Carter CS. *Development of action monitoring through adolescence into adulthood: ERP and source localization*. Dev Sci. 2007;6: 874-91.
136. Lage-Castellanos A, Martinez-Montes E, Hernandez-Cabrera JA, Galan L. *False discovery rate and permutation test: an evaluation in ERP data analysis*. Stat Med. 2010; 29:63-74.
137. Legge GE, Madison C, Vaughn BN, Cheong AM, Miller JC. *Retention of high tactile acuity throughout the life span in blindness* Percept Psychophys. 2008;70: 1471-88.
138. Leo A, Bernardi G, Handjaras G, Bonino D, Ricciardi E, Pietrini P. *Variability in the parietal cortex and enhanced parieto-occipital connectivity during tactile perception in congenitally blind individuals*. Increased BOLD. 2012:720-278.

- 139.** Leonards U, Palix J, Michel C, Ibanez V. *Comparison of early cortical networks in efficient and inefficient visual search: an event-related potential study.* J Cogn Neurosci. 2003; 15:1039-51.
- 140.** Leporé N, Voss P, Lepore F, Chou Y, Fortin M, Gougoux F, Lee A, Brun C, Lassonde M, Madsen M, Toga AW, Thompson P. *Brain structure changes visualized in early- and late-onset blind subjects.* Neuroimage. 2010; 49: 134-140.
- 141.** Lewis LB, Saenz M, Fine I. *Mechanisms of cross-modal plasticity en early blind.* Journal of Neurophysiology. 2010; 104(6): 2995-3008.
- 142.** Likova L. *Drawing enhances cross-modal memory plasticity in the human brain: a case study in a totally blind adult.* Front Hum Neurosci. 2012; 6:44.
- 143.** Likova L, Tyler C, Cacciamani L, Mineff K, Nicholas S. *Effect of familiarity on Braille writing and reading in the blind: From graphemes to comprehension.* J Vis. 2015; 15(12):920.
- 144.** Lin CC, Whitney SL, Loughlin PJ, Furman JM, Redfern MS, Sienko KH, Sparto PJ. *The effect of age on postural and cognitive task performance while using vibrotactile feedback.* J Neurophysiol. 2015; 113:2127-36.
- 145.** Long C, Li J, Chen A, Qiu J, Chen J, Li H. *Event-related potential responses to letter-string comparison analogies.* Exp Brain Res. 2015; 233: 1563-73.
- 146.** Lucan JN, Foxe JJ, Gomez-Ramirez M, Sathian K, Molholm S. *Tactile shape discrimination recruits human lateral occipital complex during early perceptual processing.* Hum Brain Mapp. 2010; 31: 1813-21.
- 147.** Luck SJ, Hillyard SA, Mouloua M, Woldorff MG, Clark VP, Hawkins HL. *Effects of spatial cuing on luminance detectability: psychophysical and electrophysiological evidence for early selection.* J Exp Psychol Hum Percept Perform. 1994; 20: 887-904.
- 148.** Luck SJ, Hillyard SA. *Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology.* J Exp Psychol Hum Percept Perform. 1994; 20: 1000-14.
- 149.** Luck SJ. *Multiple mechanisms of visual-spatial attention: recent evidence from human electrophysiology.* Behav Brain Res. 1995; 71:113-23.
- 150.** Luck SJ, Chelazzi L, Hillyard SA, Desimone R. *Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex.* JNeurophysiol. 1997; 77: 24-42.
- 151.** Luck SJ, Girelli M, McDermott MT, Ford MA. *Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: an ambiguity resolution theory of visual selective attention.* Cogn Psychol. 1997; 33: 64-87.
- 152.** Luck SJ, Ford MA. *On the role of selective attention in visual perception.* Proc Natl Acad Sci U S A. 1998; 95: 825-30.
- 153.** Luck SJ, Woodman GF, Vogel EK. *Event-related potential studies of attention.* Trends Cogn Sci. 2000; 4: 432-440.
- 154.** Mahncke HW, Conor BB, Appelman J, Ahsanuddin AN, Hardy JL, Word RA, Joyce NM, Boniske T, Atkins SM, Merzenich M. *Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity-based training program: a randomized controlled study.* Proceedings of the National Academy of Sciences. Proc Natl Acad Sci U S A. 2006; 103: 12523-8.
- 155.** Maidenbaum S, Abboud S, Amedi A. *Sensory substitution: closing the gap between basic research and widespread practical visual rehabilitation.* Neurosci Biobehav Rev. 2014; 41:3-15.
- 156.** Maidenbaum S, Buchs G, Abboud S, Lavi-Rotbain O, Amedi A. *Perception of Graphical Virtual Environments by Blind Users via Sensory Substitution.* PLoS One. 2016; 11:0147501.
- 157.** Malamud-Kessler C, Estañol-Vidal B, Ayala-Anaya S, Sentfies-Madrid H, Hernandez-Camacho M. *Fisiología de la vibración.* Rev Mex Neuroci. 2014; 15: 163-170

158. Mangun GR. *Neural mechanisms of visual selective attention*. Psychophysiology. 1995; 32: 4-18.
159. Martín-Loeches M. *¿Qué es la actividad cerebral? Técnicas para su estudio*. Madrid: Biblioteca Nueva; 2001.
160. Matteau I, Kupers R, Ricciard E, Pietrini P, Ptito M. *beyond visual, aural and haptic movement perception: hMT+ is activated by electrotactile motion stimulation of the tongue in sighted and in congenitally blind individuals*. Brain Research Bulletin. 2010. 82(5-6): 264-270.
161. Mazziotta JC, Toga AW, Evans A, Fox P, *A probabilistic atlas of the human brain: theory and rationale for its development. The International Consortium for Brain Mapping (ICBM)*. Lancaster J Neuroimage. 1995; 2(2):89-101.
162. Meng F, Gray R, Ho C, Ahtamad M, Spence C. *Dynamic vibrotactile signals for forward collision avoidance warning systems*. Hum Factors. 2015; 57:329-46.
163. Merabet LB, Hamilton R, Schlaug G, Swisher, JD, Kiriakopoulos ET, Pitskel NB, Kauffman T, Pascual-Leone A. *Rapid and reversible recruitment of early visual cortex for touch*. PLoS ONE. 2008; 3 (8):e3046.
164. Moreno EM, Kutas M. *Processing semantic anomalies in two languages: an electrophysiological exploration in both languages of Spanish-English bilinguals*. Brain Res Cogn Brain Res. 2005; 22(2):205-20.
165. Moreno EM, Casado P, Martín-Loeches M. *Tell me sweet little lies: An event-related potentials study on the processing of social lies*. Cogn Affect Behav Neurosci. 2016; 3: 23.
166. Morin P, Rivrain Y, Eustache F, Lambert J, Courtheoux P. *Visual and tactile agnosia*. Rev Neurol (Paris). 1984; 140(4):271-7.
167. Murray MM, Wylie GR, Higgins BA, Javitt DC, Schroeder CE, Foxe JJ. *The spatiotemporal dynamics of illusory contour processing: combined high-density electrical mapping, source analysis, and functional magnetic resonance imaging*. J Neurosci. 2002; 22: 5055-73.
168. Murray MM, Foxe DM, Javitt DC, Foxe JJ. *Setting boundaries: brain dynamics of modal and amodal illusory shape completion in humans*. J Neurosci. 2004; 24: 6898-903.
169. Murray MM, Camen C, Gonzalez Andino SL, Bovet P, Clarke S. *Rapid brain discrimination of sounds of objects*. J Neurosci. 2006; 26: 1293-302.
170. Murray MM, Thelen A, Thut G, Romei V, Martuzzi R, Matusz PJ. *The multisensory function of the human primary visual cortex*. Neuropsychologia. 2016; 83:161-9.
171. Noordzij ML, Zuidhoek S, Postma A. *The influence of visual experience on visual and spatial imagery*. Perception. 2007; 36:101-12.
172. Noppeney U, Friston KJ, Price CJ. *Effects of visual deprivation on the organization of the semantic system*. Brain. 2003; 126: 1620-7.
173. Noppeney U. *The effects of visual deprivation on functional and structural organization of the human brain*. Neuroscience and Behavioral Review. 2007; 31: 1169-1180.
174. Norman JF, Bartholomew AN. *Blindness enhances tactile acuity and haptic 3-D shape discrimination*. Atten Percept Psychophys. 2011; 73: 2323-31.
175. Obretenova S, Halko MA, Plow EB, Pascual-Leone A, Merabet LB. *Neuroplasticity associated with tactile language communication in a deaf-blind subject*. Front Hum Neurosci. 2010; 3:60.
176. Organización Mundial de la Salud (OMS) <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/> Ceguera y Discapacidad, 2014.

177. Ortells JJ, Kiefer M, Castillo A, Megías M, Morillas A. *The semantic origin of unconscious priming: Behavioral and event-related potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words*. *Cognition*. 2016; 146:143-57.
178. Orpwood R. *Neurobiological mechanisms underlying qualia*. *Journal of Integrative Neuroscience*. 2007. 6: 523-540.
179. Ortiz T, Poch J, Santos JM, Requena C, Martínez AM, Ortiz-Terán L, Turrero A, Barcia J, Nogales R, Calvo A, Martínez JM, Córdoba JL, Pascual-Leone A. *Recruitment of occipital cortex during sensory substitution training linked to subjective experience of seeing in people with blindness*. *PLoS One*. 2011.6 (8): e23264.
180. Ortiz T, Santos JM, Ortiz-Terán L, Nogales R, Serrano-Marugán I, Martínez JM, Minguito-García C, Requena C, Poch-Broto J. *Is the early brain organisation of spatial information conveyed by tactile stimuli performed in different ways in congenital and acquired blind children? A pilot study*. *Rev Neurol*. 2013; 56 Suppl 1:S163-9.
181. Ortiz T, Poch J, Santos JM, Martínez AM, Ortiz-Terán L, Requena C, Barcia JA, de Erausquin GA, Pascual-Leone A. *Occipital cortex activation by long-term repetitive tactile stimulation is necessary for object recognition in blinds: A case report*. *Neurocase*. 2014; 20: 273-82.
182. Ortiz T, Santos JM, Ortiz-Terán L, BorregoMA, Poch J, de Erausquin GA. *Differences in Early Stages of Tactile ERP Temporal Sequence (P100) in Cortical Organization during Passive Tactile Stimulation in Children with Blindness and Controls*. *PLOS ONE* 2015; 7:30.
183. Pascual-Leone A, Torres F. *Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers*. *Brain*. 1993; 116:39-52.
184. Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D. *Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain*. *Int J Psychophysiol*. 1994; 18: 49-65.
185. Pascual-Marqui RD, Esslen M, Kochi K, Lehmann D. *Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): a review*. *Methods Find Exp Clin Pharmacol*. 2002; 24 Suppl C: 91-5.
186. Pascual-Leone A, Amedi A, Fregni F, Merabet LB. *The plastic human brain cortex*. *Annual Rev Neurosci*. 2005; 28:377-401.
187. Pasqualotto A, Spiller MJ, Jansari AS, Proulx MJ. *Visual experience facilitates allocentric spatial representation*. *Behav Brain Res*. 2013; 236:175-9.
188. Pasqualotto A, Taya S, Proulx MJ. *Sensory deprivation: visual experience alters the mental number line*. *Behav Brain Res*. 2014; 261:110-3.
189. Picton TW, Bentin S, Berg P, Donchin E, Hillyard SA, Johnson R Jr, Miller GA, Ritter W, Ruchkin DS, Rugg MD, Taylor MJ. *Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria*. *Psychophysiology*. 2000; 37:127-52.
190. Peltier S, Stilla R, Mariola E, LaConte S, Hu X, Sathian K. *Activity and effective connectivity of parietal and occipital cortical regions during haptic shape perception*. *Neuropsychologia*. 2007; 45: 476-83.
191. Peterson CC, Peterson JL, Webb J. *Factors influencing the development of a theory of mind in blind children*. *Br J Dev Psychol*. 2000; 18:431-47.
192. Pietrini P, Furey ML, Ricciardi E, Gobbini M, Wu WH, Cohen L, Guazzelli M, Haxby JV. *Beyond sensory images: Object-based representation in the human ventral pathway*. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2004; 101: 5658-63.

193. Pietrini P, Ptito M, Kupers R. *Blindness and consciousness: new light from the dark*. En: Laureys S y Tononi G (Eds.). *The Neurology of Consciousness*. Academic Press. Amsterdam. 2009, 360-374.
194. Pishnamazi M, Nojaba Y, Ganjgahi H, Amousoltani A, Oghabian MA. *Neural correlates of audiotactile phonetic processing in early-blind readers: an fMRI study*. *Exp Brain Res*. 2016; 234: 1263-77.
195. Poirier CC, De Volder AG, Tranduy D, Scheiber C. *Neural changes in the ventral and dorsal visual streams during pattern recognition learning*. *Neurobiol Learn Mem*. 2006; 85: 36-43.
196. Polich J. *Semantic categorization and event-related potentials*. *Brain Lang*. 1985; 26: 304-21.
197. Ponton CW, Don M, Eggermont JJ, Waring MD, Kwong B, Masuda A. *Auditory system plasticity in children after long periods of complete deafness*. *Neuroreport*. 1996; 8: 61-5.
198. Pritchard WS, Shappell SA, Brandt ME. *Psychophysiology of N200/N400: a review and classification scheme*. In Ackles PK, Jennins JR, Coles MGH, eds. *Advances in psychophysiology*. Vol. 4. Greenwich JAI Press; 1991. p. 43-106.
199. Pritchard WS, Duke DW. *Measuring chaos in the brain: a tutorial review of nonlinear dynamical EEG analysis*. *Int J Neurosci*. 1992; 67: 31-80.
200. Proulx MJ, Brown DJ, Pasqualotto A, Meijer P. *Multisensory perceptual learning and sensory substitution*. *Neurosci Biobehav Rev*. 2014; 41:16-25.
201. Proverbio AM, Del Zotto M, Zani A. *Inter-individual differences in the polarity of early visual responses and attention effects*. *Neurosci Lett*. 2007; 419: 131-6.
202. Ptito M, Kupers R, Faubert J, Gjedde A. *Cortical representation of inward and outward radial motion in man*. *NeuroImage*. 2001; 14: 1409-1415.
203. Ptito M, Kupers R. *Cross-modal plasticity in early blindness*. *Journal of Integrative Neuroscience*. 2005; 4: 479-488.
204. Ptito M, Schneider FC, Paulson OB, Kupers R. *Alterations of the visual pathways in congenital blindness*. *Experimental Brain Research*. 2008; 187: 41-49.
205. Ptito M, Matteau I, Gjedde A, Kupers R. *Recruitment of the middle temporal area by tactile motion in congenital blindness*. *Neuroreport*. 2009; 20(6):543-7.
206. Qu Z, Hillyard SA, Ding Y. *Perceptual Learning Induces Persistent Attentional Capture by Nonsalient Shapes*. *Cereb Cortex*. 2016; 1:11. pii: bhv342.
207. Ragert P, Schmidt A, Altenmüller E, Dinse HR. *Superior tactile performance and learning in professional pianists: evidence for meta-plasticity in musicians*. *Eur J Neurosci*. 2004; 19: 473-8.
208. Ramon y Cajal S. *Textura del Sistema Nervioso del hombre y de los vertebrados*. Gobierno de Aragón. Zaragoza, 1ª edición (edición facsímil de 1899).
209. Ramon y Cajal S. *La fine structure des centres nerveux (The cronian lectura)*. *Proceeding of the Royal Society London*. (1894 a) 55: 444-67.
210. Ramon y Cajal S. *Estructura intima de los centros nerviosos*. *Revista de Ciencias Médicas de Barcelona*. (1894 b) 20:145-60.
211. Rauschecker AM, Dastjerdi M, Weiner KS, Witthoft N, Chen J, Selimbeyoglu A, Parvizi J. *Illusions of visual motion elicited by electrical stimulation of human MT complex*. *PLoS One*. 2011; 6(7):e21798.
212. Raz N, Striem E, Pundak G, Orlov T, Zohary E. *Superior serial memory in the blind: a case of cognitive compensatory adjustment*. *Curr Biol*. 2007; 17(13):1129-33.
213. Reuter EM, Voelcker-Rehage C, Vieluf S, Godde B. *Touch perception throughout working life: effects of age and expertise*. *Exp Brain Res*. 2012; 216(2):287-97.

214. Reuter EM, Voelcker-Rehage C, Vieluf S, Winneke AH, Godde B. *Extensive occupational finger use delays age effects in tactile perception-an ERP study*. *Atten Percept Psychophys*. 2014; 76: 1160-75.
215. Reich L, Szwed M, Cohen L, Amedi A. *A ventral visual stream reading center independent of visual experience*. *Curr Biol*. 2011; 21(5):363-8.
216. Riby LM, Orme E. *A familiar pattern? Semantic memory contributes to the enhancement of visuo-spatial memories*. *Brain Cogn*. 2013; 81(2):215-22.
217. Ricciardi E, Bonino D, Sani L, Vecchi T, Guazzelli M, Haxby JV, Fadiga L, Pietrini P. *Do we really need vision? How blind people "see" the actions of others*. *J Neurosci*. 2009; 29: 9719-24.
218. Ricciardi A, Pisco M, Gallina I, Campopiano S, Galdi V, O' Faolain L, Krauss TF, Cusano A. *Experimental evidence of guided-resonances in photonic crystals with aperiodically ordered supercells*. *Opt Lett*. 2010; 35: 3946-8.
219. Ricciardi E, Pietrini P. *New light from the dark: what blindness can teach us about brain function?* *Curr Opin Neurol*. 2011; 24:357-63.
220. Ricciardi E, Basso D, Sani L, Bonino D, Vecchi T, Pietrini P, Miniussi C. *Functional inhibition of the human middle temporal cortex affects non-visual motion perception: a repetitive transcranial magnetic stimulation study during tactile speed discrimination*. *Exp Biol Med (Maywood)*. 2011; 236:138-44.
221. Ricciardi E, Bonino D, Pellegrini S, Pietrini P. *Mind the blind brain to understand the sighted one! Is there a supramodal cortical functional architecture?* *Neurosci Biobehav Rev*. 2014; 41:64-77.
222. Röder B, Stock O, Bien S, Neville H, Rösler F. *Speech processing activates visual cortex in congenitally blind humans*. *Eur J Neurosci*. 2002; 16: 930-6.
223. Röder B, Rösler F. *Memory for environmental sounds in sighted, congenitally blind and late blind adults: evidence for cross-modal compensation*. *Int J Psychophysiol*. 2003 Oct; 50(1-2):27-39.
224. Röder B, Wallace M. *Development and plasticity of multisensory functions*. *Restor Neurol Neurosci*. 2010; 28(2):141-2.
225. Romero-Rivas C, Martin CD, Costa A. *Foreign-accented speech modulates linguistic anticipatory processes*. *Neuropsychologia*. 2016; 85:245-255.
226. Rossion B, Bodart JM, Pourtois G, Thioux M, Bol A, Cosnard G, Benoit G, Michel C, De Volder A. *Functional imaging of visual semantic processing in the human brain*. *Cortex*. 2000; 36: 579-91.
227. Rossion B, Gauthier I. *How does the brain process upright and inverted faces?* *Behav Cogn Neurosci Rev*. 2002; 1: 63-75.
228. Rugg MD, Furda J, Lorist M. *The effects of task on the modulation of event-related potentials by word repetition*. *Psychophysiology* 1988; 2: 55-63.
229. Rugg MD. *Event related potentials dissociate repetition effects of high and low frequency words*. *Mem Cognit*. 1990; 18: 367-79.
230. Rugg MD, Roberts RC, Potter DD, Nagy ME, Pickles CD. *Endogenous event-related potentials from sphenoidal electrodes*. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1990; 76: 331-8.
231. Sadato N, Pascual-Leone A, Grafman J, Ibañez V, Deiber MP, Dold G, Hallett M. *Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects*. *Nature*. 1996; 380: 526-8.
232. Sadato N, Pascual-Leone A, Grafman J, Deiber MP, Ibañez V, Hallett M. *Neural networks for Braille reading by the blind*. *Brain*. 1998; 121: 1213-29.
233. Sadato N, Okada T, Honda M, Yonekura Y. *Critical period for cross-modal plasticity in blind humans: a functional MRI study*. *Neuroimage*. 2002; 16: 389-400.

234. Sani L, Ricciardi E, Gentili C, Vanello N, Haxby JV, Pietrini P. *Effects of Visual Experience on the Human MT+ Functional Connectivity Networks: An fMRI Study of Motion Perception in Sighted and Congenitally Blind Individuals*. *Front Syst Neurosci*. 2010; 4:159.
235. Sathian K, Stilla R. *Cross-modal plasticity of tactile perception in blindness*. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2010; 28 (2):271–281.
236. Schwab D, Benedek M, Papousek I, Weiss EM, Fink A. *The time-course of EEG alpha power changes in creative ideation*. *Front Hum Neurosci*. 2014; 8:310.
237. Shahbazian M, Bertrand P, Abarca M, Jacobs R. *Occupational changes in manual tactile sensibility of the dentist*. *J Oral Rehabil*. 2009; 36: 880-6.
238. Schlaggar BL, McCandliss BD. *Development of neural systems for reading*. *Annu Rev Neurosci*. 2007; 30:475-503.
239. Schmid MC, Mrowka SW, Turchi J, Saunders RC, Wilke M, Peters AJ, Ye FQ, Leopold DA. *Blindsight depends on the lateral geniculate nucleus*. *Nature*. 2010; 466:373-7.
240. Shimizu Y. *Temporal factors for vibrotactile letter reading*. *Percept Mot Skills*. 1995; 80: 1069-70.
241. Schubö A, Schröger E, Meinecke C. *Texture segmentation and visual search for pop-out targets. An ERP study*. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2004; 21: 317-34.
242. Sehatpour P, Molholm S, Javitt DC, Foxe JJ. *Spatiotemporal dynamics of human object recognition processing: an integrated high-density electrical mapping and functional imaging study of "closure" processes*. *Neuroimage*. 2006; 29: 605-18.
243. Sehatpour P, Molholm S, Schwartz TH, Mahoney JR, Mehta AD, Javitt DC, Stanton PK, Foxe JJ. *A human intracranial study of long-range oscillatory coherence across a frontal-occipital-hippocampal brain network during visual object processing*. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2008; 105: 4399-404.
244. Sigalov N, Maidenbaum S, Amedi A. *Reading in the dark: neural correlates and cross-modal plasticity for learning to read entire words without visual experience*. *Neuropsychologia*. 2016; 83:149-60.
245. Siuda-Krzywicka K, Bola Ł, Paplińska M, Sumera E, Jednoróg K, Marchewka A, Śliwińska MW, Amedi A, Szwed M. *Massive cortical reorganization in sighted Braille readers*. *Elife*. 2016; 15 (3) 5. Pii: e10762.
246. Soria -Claros M, Ortiz T. *Location of brain of sources children during the passive tactile of letter*. *Revista Participacion Educativa*. 2015; 7: 141-149.
247. Soria-Claros M, Serrano-Marugan I, Quintero J, Ortiz T. *The effect of passive tactile stimulation in the brain activity of children with attention deficit*. *Rev Neurol*. 2016; 21 (2) 62 Suppl 1:S103-7.
248. Stilla R, Sathian K. *Selective visuo-haptic processing of shape and texture*. *Hum Brain Mapp*. 2008; 29: 1123–38.
249. Striem-Amit E, Dakwar O, Reich L, Amedi A. *The large-scale organization of "visual" streams emerges without visual experience*. *Cereb Cortex*. 2012; 22: 1698-709.
250. Striem-Amit E, Amedi A. *Visual cortex extrastriate body-selective area activation in congenitally blind people "seeing" by using sounds*. *Curr Biol*. 2014; 24: 687-92
251. Striem-Amit E, Ovadia-Caro S, Caramazza A, Margulies DS, Villringer A, Amedi A. *Functional connectivity of visual cortex in the blind follows retinotopic organization principles*. *Brain*. 2015; 138: 1679-95.
252. Swisher JD, Halko MA, Merabet LB, McMains SA, Somers DC. *Visual topography of human intraparietal sulcus*. *J Neurosci*. 2007; 27: 5326-37.
253. Tal Z, Geva R, Amedi A. *The origins of metamodality in visual object area LO: Bodily topographical biases and increased functional connectivity to S1*. *Neuroimage*. 2016; 127:363-75.

254. Tanaka JW, Curran T. *A neural basis for expert object recognition*. Psychol Sci. 2001; 12: 43-7.
255. Tremblay F, Mireault AC, Létourneau J, Pierrat A, Bourrassa S. *Tactile perception and manual dexterity in computer users*. Somatosens Mot Res. 2002; 19(2):101-8.
256. Tzourio-Mazoyer N, Landeau B, Papathanassiou D, Crivello F, Etard O, Delcroix N. *Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain*. Neuroimage. 2002. 15, 273-289.
257. Uhl F, Franzen P, Lindinger G, Lang WL, Deecke L. *On the functionality of the visually deprived occipital cortex in early blind persons*. Neuroscience Letters. 1991, 124 (2):256–259.
258. Uhl F, Franzen P, Podreka I, Steiner M, Deecke L. *Increased regional cerebral blood flow in inferior occipital cortex and cerebellum of early blind humans*. Neuroscience Letters. 1993, 150 (2):162–164.
259. Van Boven RW, Hamilton RH, Kauffman T, Keenan JP, Pascual-Leone A. *Tactile spatial resolution in blind braille readers*. Neurology. 2000; 54: 2230-6.
260. Van Praag H, Christie BR, Sejnowski TJ, Gage FH. *Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice*. Proceedings of the National Academy of Science. 1999; 96: 13427-31.
261. Van Erp JB. *Tactile displays for navigation and orientation: Perception and behaviour*. Leiden, The Netherlands: Mostert & van Onderen. 2007.
262. Van Erp JB. *Absolute localization of vibrotactile stimuli on the torso*. Percept Psychophys. 2008; 70(6):1016-23.
263. Van der Waal M, Severens M, Geuze J, Desain P. *Introducing the tactile speller: an ERP-based brain-computer interface for communication*. J Neural Eng. 2012; 9: 045002.
264. Vieluf S, Godde B, Reuter EM, Voelcker-Rehage C. *Age-related differences in finger force control are characterized by reduced force production*. Exp Brain Res. 2013; 224: 107-17.
265. Viski S, Orgovan D, Szabo K, Rosengarten B, Csiba L, Olah L. *Effect of reading on blood flow changes in the posterior cerebral artery in early blind and sighted people - A transcranial Doppler study*. J Neurol Sci. 2016; 363:132-9.
266. Voss P, Gougoux F, Zatorre RJ, Lassonde M, Lepore F. *Differential occipital responses in early- and late-blind individuals during a sound-source discrimination task*. Neuroimage. 2008; 40: 746-58.
267. Wan CY, Wood AG, Reutens DC, Wilson SJ. *Congenital blindness leads to enhanced vibrotactile perception*. Neuropsychologia. 2010; 48: 631-5.
268. Wheat HE, Goodwin AW, Browning AS. *Tactile resolution: peripheral neural mechanisms underlying the human capacity to determine positions of objects contacting the fingerpad*. J Neurosci. 1995; 15: 5582-95.
269. Wimmer VC, Broser PJ, Kuner T, Bruno RM. *Experience-induced plasticity of thalamocortical axons in both juveniles and adults*. The Journal of Comparative. Neurology. 2010; 518: 4629-48.
270. Wittenberg GF, Werhahn KJ, Wassermann EM, Herscovitch P, Cohen LG. *Functional connectivity between somatosensory and visual cortex in early blind humans*. Eur J Neurosci. 2004; 20:1923–7.
271. Wolber M, Wascher E. *Visual search strategies are indexed by event-related lateralizations of the EEG*. Biol Psychol. 2003; 63: 79-100.
272. Woldorff MG, Liotti M, Seabolt M, Busse L, Lancaster JL, Fox PT. *The temporal dynamics of the effects in occipital cortex of visual-spatial selective attention*. Brain Res Cogn Brain Res. 2002; 15:1-15.
273. Wong M, Hackeman E, Hurd C, Goldreich D. *Short-term visual deprivation does not enhance passive tactile spatial acuity*. PLoS One. 2011; 6(9):e25277.

274. Woodman GF, Luck SJ. *Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search*. *Nature*. 1999; 400: 867-9.
275. Woodman GF, Vecera SP, Luck SJ. *Perceptual organization influences visual working memory*. *Psychon Bull Rev*. 2003; 10:80-7.
276. Yeung N, Cohen JD. *The impact of cognitive deficits on conflict monitoring. Predictable dissociations between the error-related negativity and N2*. *Psychol Sci*. 2006; 17:164-71.
277. Zangaladze A, Epstein CM, Grafton ST, Sathian K. *Involvement of visual cortex in tactile discrimination of orientation*. *Nature*. 1999; 401:587-90.
278. Zhang M, Weisser VD, Stilla R, Prather SC, Sathian K. *Multisensory cortical processing of object shape and its relation to mental imagery*. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2004; 4: 251–9.
279. Zeng T, Mao W, Lu Q. *Syntactic and semantic processing of Chinese middle sentences: evidence from event-related potentials*. *Neuroreport*. 2016; 27: 568-73.



## 8.- ANEXOS

### ANEXO 1



#### CONSENTIMIENTO INFORMADO

#### PROYECTO DE INTEGRACIÓN DE NIÑOS INVIDENTES EN SU ENTORNO ESCOLAR

Investigador principal: Prof. Dr. Tomás Ortiz Alonso.

Departamento de Psiquiatría. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.

#### Explicación

#### ¿Qué es la neuroplasticidad?

La neuroplasticidad es un proceso mediante el cual las neuronas consiguen aumentar sus conexiones con otras neuronas de forma estable. Esto se da como consecuencia de la experiencia, el aprendizaje o la estimulación sensorial y cognitiva.

La eficacia de la estimulación en la plasticidad cerebral ha sido demostrada y replicada por varios grupos en distintos estudios. De hecho se sabe que la actividad regular y

sistemática, así como un ambiente enriquecido y psicológicamente adecuado, estimula tanto las conexiones interneuronales como el desarrollo de nuevas células nerviosas.

### **¿Qué tipo de neuroplasticidad tienen los ciegos con estimulación táctil?**

En relación con la investigación que nos ocupa, diferentes científicos han documentado la existencia de un gran proceso de plasticidad cerebral hacia otras áreas sensoriales - principalmente visuales - en personas invidentes.

Los estudios mediante estimulación táctil demuestran la capacidad que tienen las neuronas del tacto en la plasticidad neuronal, consecuencia de la representación memorística de las neuronas táctiles, del alto grado de eficacia del tacto para determinar la posición y morfología de los objetos, de la capacidad de asociación de diferentes modalidades de estimulación, de la modulación de la información táctil y de la capacidad para la localización exacta de objetos.

La plasticidad cerebral de la actividad cortical, provocada por la estimulación táctil repetitiva, tiene un desarrollo progresivo que va desde áreas parietales primarias (las primordialmente táctiles), pasa por áreas parieto-occipitales secundarias (áreas de asociación) y llega hasta áreas occipitales primarias (preeminentemente visuales) en algunos sujetos ciegos.

### **¿Cuál es el objetivo de nuestro estudio?**

El objetivo de este estudio es llevar a cabo una estimulación táctil repetitiva de perfiles de diferentes objetos en la palma de la mano con el fin de desarrollar nuevas conexiones

cerebrales que alcancen las áreas asociativas visuales. Otro objetivo es conseguir mediante un proceso de aprendizaje progresivo que el sujeto invidente pueda reconocer a distancia el entorno en el que se desenvuelve.

### **¿Cómo se realiza nuestro estudio?**

En primer lugar se da, de manera repetitiva, continuada, a lo largo de seis meses (media hora por la mañana y media por la tarde), una estimulación táctil en la palma de la mano mediante un dispositivo estimulador táctil que traduce imágenes del exterior o al que le damos imágenes de un ordenador. Esta estimulación no es invasiva ni produce daño alguno.

Durante el proceso se registrarán y almacenarán datos en forma de registros informáticos, eléctricos, neuroimágenes, así otros datos clínicos para su uso en este proyecto, y que podrán ser utilizados con otros fines de investigación y docencia.

La información se tratará de forma confidencial, a tenor de lo que indica la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos. En ningún caso se publicarán datos que puedan identificarle sin su permiso explícito.

### **¿Qué tipos de registros se llevan a cabo?**

Estudio mediante electroencefalografía (EEG) antes y después de la estimulación táctil repetitiva. El objetivo de esta prueba es valorar la actividad neurofuncional mediante potenciales evocados somatosensoriales evocados a través de la aplicación de estímulos táctiles de forma repetitiva en la palma de la mano. La prueba consistirá en dos registros durante una prueba, de 6-10 minutos de duración, en la que el sujeto tendrá que discriminar

entre diferentes tipos de estímulos táctiles (líneas y letras). La EEG no es una prueba invasiva, ni conlleva ninguna radiación ionizante, ni produce dolor. Es una prueba “pasiva”, es decir, se trata de unos sensores que están en un casco elástico y que pasivamente registran la actividad eléctrica del cerebro.

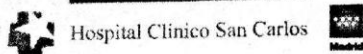
### **¿Qué perjuicios puede conllevar este estudio?**

Dado el tipo de estimulación (táctil, repetitiva, no invasiva) y la prueba utilizadas de EEG cabe deducir que este tipo de estudio no lleva aparejado ningún perjuicio objetivo directo derivado del mismo.

Lo peor que puede pasar es que no obtenga mejora ninguna en su capacidad de reconocimiento de imágenes translucidas táctilmente; pero sin embargo, hasta ahora, a pesar de las varias docenas de voluntarios adultos y menores que han participado en nuestros estudios en entrenamientos similares, no ha habido ni una sola persona que no haya mejorado siquiera algo o parcialmente en su capacidad de reconocimiento.

Al firmar este documento, Ud. afirma haber leído y comprendido la información anteriormente expuesta, así como las explicaciones recibidas. También conoce la posibilidad que tiene de revocar el consentimiento que ahora presta en cualquier momento y sin necesidad de dar ninguna explicación, sin que ello suponga una discriminación o perjuicio en su asistencia. Acepta, asimismo, que ha tenido oportunidad de plantear cualquier pregunta o duda concerniente sobre el mismo al Profesor Tomás Ortiz Alonso, o a alguno de los miembros de su equipo, para esclarecer cualquier punto que quedase insuficientemente claro o dudoso.





**Informe Dictamen Favorable  
Proyecto Investigación Biomédica**

C.P. - C.I. 10/171-E  
19 de mayo de 2010

**CEIC Area 7 - Hospital Clínico San Carlos**

**INFORME DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA**

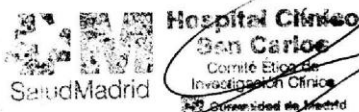
Dra. Mar García Arenillas  
Secretaria del CEIC Area 7 - Hospital Clínico San Carlos

**CERTIFICA**

Que el proyecto de investigación titulado "**Neuroplasticidad cerebral en áreas occipitales en sujetos ciegos tras estimulación táctil repetitiva**" con código interno nº 10/171-E del que es Investigador Principal el **Dr. Tomás Ortiz Alonso** de la Facultad de Medicina. Departamento de Psiquiatría de la Universidad Complutense de Madrid, ha sido estudiado por este Comité, no habiéndose realizado objeción alguna al mismo.

Es por ello que el Comité **informa favorablemente** sobre la realización de dicho proyecto.

Lo que firmo en Madrid, a 19 de mayo de 2010



Fdo: Dra. Mar García Arenillas  
Secretaria del CEIC Area 7 - Hospital Clínico San Carlos