



## Grado en óptica y optometría

### Trabajo Fin de Grado

Aplicación de electroencefalografía digital a la evaluación de la estabilidad en visión binocular

Autor

Javier Martín Egea

Directores

Jorge Ares García

Elisa Viladés Palomar

Facultad de ciencias – Universidad de Zaragoza  
Curso académico 2015 - 2016

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. CONCEPTOS DE INTERÉS.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1. EL PAPEL DE LA OPTOMETRÍA EN LAS NEUROCIENCIAS. ....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2. DIAGNOSTICO POR NEUROIMAGEN. ....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. NEUROFISIOLOGÍA DE LA VISIÓN EN EL ADULTO.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1. SISTEMA VISUAL HUMANO.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2. CORTEX VISUAL: LOCALIZACIÓN, ARQUITECTURA Y FUNCIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3. VISIÓN BINOCULAR Y ESTEREOPSIS.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3. ELECTROENCEFALOGRAFÍA (EEG).....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA. ....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.2. APLICACIONES Y MANIOBRAS DE EEG. ....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.3. ONDAS Y REGISTRO DEL EEG.....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>3. ESTADO ACTUAL Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....</b>	<b>11</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....</b>	<b>12</b>
<b>4.3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....</b>	<b>12</b>
<b>4.4. MATERIAL DE MEDIDA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.5. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA .....</b>	<b>14</b>
<b>4.5.1. PREPARACIÓN DE LA PRUEBA.....</b>	<b>14</b>
<b>4.5.2. TOMA DE MEDIDAS.....</b>	<b>15</b>
<b>4.5.3. LIMPIEZA DE LOS DATOS OBTENIDOS.....</b>	<b>16</b>
<b>4.5.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS. ....</b>	<b>16</b>
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
<b>5.1. ANÁLISIS DE LAS ONDAS ALFA .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1.1. ESTADO BASAL O VISION BINOCULAR .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1.2. ROTURA.....</b>	<b>17</b>
<b>5.1.3. VISIÓN BIOCULAR DISOCIADA.....</b>	<b>18</b>
<b>5.1.4. RECOBRO.....</b>	<b>18</b>
<b>5.1.5. ANÁLISIS DE MUESTRAS PAREADAS (ESTADO VS ESTADO).....</b>	<b>18</b>
<b>5.2. ANÁLISIS DE LAS ONDAS BETA.....</b>	<b>21</b>

5.2.1. ESTADO BASAL O VISION BINOCULAR .....	21
5.2.2. ROTURA.....	21
5.2.3. VISION BIOCULAR DISOCIADA.....	21
5.2.4. RECOBRO.....	21
5.2.5. ANÁLISIS DE MUESTRAS PAREADAS (ESTADO VS ESTADO) .....	22
6. DISCUSIÓN .....	24
7. CONCLUSIONES.....	26
8. BIBLIOGRAFÍA .....	27
9. ANEXOS .....	30
9.1. ANEXO I.....	30
9.2. ANEXO II.....	30
9.3. ANEXO III.....	31

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. CONCEPTOS DE INTERÉS.

Siempre se ha sabido que el cerebro es un órgano complicado y lamentablemente nuestro conocimiento acerca de él todavía sigue siendo incompleto. A la par que el ser humano ha evolucionado, también lo ha hecho su cerebro, especialmente su córtex, el cual ha ido desarrollándose y cobrando especial importancia. En esta capa externa del cerebro recibimos toda la información sensorial de nuestro entorno y se crean los estímulos motores voluntarios, es decir, gracias al córtex podemos relacionarnos con el mundo externo.<sup>1</sup>

El grado en el que un animal depende de un órgano es indicador de la importancia de este. Todas las acciones que realizamos están controladas por el cerebro, así que, ¿cómo un órgano que domina todos nuestros actos no puede ser complejo?<sup>2</sup>

Inconscientemente atribuimos a los ojos ser los órganos responsables del sentido de la visión, pero realmente es el encéfalo el encargado de procesar la información visual obtenida. Dicho con otras palabras, “miramos con los ojos pero vemos con el cerebro”.

#### 1.1.1. EL PAPEL DE LA OPTOMETRÍA EN LAS NEUROSCIENCIAS.

Definimos la optometría como la “profesión sanitaria dirigida a la detección de los defectos de refracción ocular, a través de su medida instrumental, a la utilización de técnicas de reeducación, prevención e higiene visual, y a la adaptación, verificación y control de las ayudas ópticas”.<sup>3</sup> Sin embargo, en los últimos años la optometría ha avanzado más allá de la mera evaluación de los defectos refractivos, y cada vez ha cobrado más importancia la valoración de todos aquellos procesos neurosensoriales involucrados en la percepción visual. Todas estas exploraciones se efectúan a través de métodos objetivos y subjetivos con los que se evalúan someramente las funciones cerebrales responsables.

#### 1.1.2. DIAGNOSTICO POR NEUROIMAGEN.

Tras la llegada de la informática y su implementación en la neurofisiología ha habido un gran progreso en las técnicas de neuroimagen, las que nos permiten ver representaciones *in vivo* del cerebro en tiempo real. Estas técnicas se pueden dividir según si proporcionan información sobre la integridad estructural del cerebro o sobre la integridad funcional con la activación de las diferentes áreas cerebrales.

Técnicas de neuroimagen morfológica o estructural:

- **Tomografía axial computerizada:** consiste en una exploración que genera cortes axiales del cuerpo mediante rayos X y que posteriormente se combinan para mostrar secciones deseadas.
- **Resonancia magnética estructural:** mediante ondas de radio y campos magnéticos los núcleos de hidrógeno del cuerpo entrar en resonancia permitiéndolos crear cortes transversales del organismo.<sup>4,5</sup>

Técnicas de neuroimagen funcional:

- **Tomografía por emisión de positrones (TEP):** estudia la relación electromagnética que induce un radiofármaco al inyectarlo en los pacientes e interaccionar con sus moléculas. Estas señales se captan por un escáner que posteriormente nos creará imágenes tridimensionales.
- **Tomografía por emisión de fotón único (SPECT):** utiliza una sustancia con un elemento radiactivo que emite fotones gamma y es capaz de pasar al sistema nervioso. Se introduce al paciente en una cámara que localiza dichos fotones para crear imágenes de su distribución por el organismo.<sup>6</sup>
- **Magnetoencefalografía (MEG):** capta los campos magnéticos generados por las corrientes intracelulares de las dendritas de las células piramidales.<sup>7</sup>
- **Resonancia magnética funcional:** se basa en el estudio de cambios hemodinámicos de perfusión y flujo sanguíneo cerebrales mediante ondas electromagnéticas y ondas de radiofrecuencia.<sup>5</sup>
- **Electroencefalograma:** nos permiten registrar la actividad eléctrica del cerebro en orden de milisegundos, posibilitándonos de una manera no invasiva analizar los mecanismos cerebrales que subyacen a procesos sensoriales, motores y cognitivos.<sup>6</sup>

## 1.2. NEUROFISIOLOGÍA DE LA VISIÓN EN EL ADULTO.

A nivel anatómico podemos dividir en encéfalo humano a lo largo en dos hemisferios, y a su vez cada uno de estos en cuatro partes o secciones llamados lóbulos cerebrales.

Existen 3 Cisuras (De Rolando, De Silvio y Parieto-Occipital) que separan los hemisferios cerebrales en 4 lóbulos visibles y 1 oculto:

- **Lóbulo frontal:** delante de la cisura de Rolando y de Silvio, está relacionado con el pensamiento e incluye la corteza motora
- **Lóbulo parietal:** detrás de la cisura de Rolando y sobre la de Silvio, procesa información táctil, presión, la temperatura y el dolor, así como el conocimiento numérico y el lenguaje.
- **Lóbulo temporal:** debajo de la cisura de Silvio es el encargado de la percepción y reconocimiento de estímulos auditivos y olfativos.
- **Lóbulo occipital:** Ocupan los polos posteriores cerebrales, y determinan la percepción e interpretación de estímulos visuales, y el reconocimiento espacial.
- **La ínsula,** quinto lóbulo (Isla de Reil): no visible desde fuera del cerebro, está localizado en el fondo de la cisura de Silvio. Se encarga del razonamiento humano y de la anticipación de resultados

A nivel funcional, el cerebro humano se divide en 52 áreas funcionales o áreas de Brodmann, algunas de estas se asocian directamente con la visión (áreas 17,18,19) y otras lo hacen de forma secundaria (5,7,8,9,10,11,20,21,44,45).<sup>8</sup>

### 1.2.1. SISTEMA VISUAL HUMANO.

El sistema visual humano principal o vía retino-genículo-cortical comprende desde la retina hasta el córtex visual primario. La mayor parte de los axones procedentes de las células retinianas siguen esta vía,<sup>9</sup> pero algunas fibras visuales también se proyectan a otras áreas del encéfalo como son el n úcleo supraquiasmático del hipotálamo, los n úcleos pretectales, el colículo superior o los n úcleos pulvinares entre otros.<sup>10, 11</sup>

#### Vía pregeniculada

Es la parte común del recorrido de la información visual, desde la percepción del estímulo hasta la llegada al tálamo donde se distribuirá hacia las diferentes vías a las que vaya a sinaptar. También recibe el nombre de vía retinotalámica.

- **Retina:** tejido sensible a la luz formada por diferentes capas de células entre las que destacamos las ganglionares y las fotorreceptoras. Las zonas más características son la mácula, área de mayor agudeza visual donde existe el mayor n úmero de conos y la papila óptica que es la zona de salida de todas las fibras que van a formar el nervio óptico.<sup>9</sup>
- **Nervio óptico:** compuesto por los axones de las células ganglionares retinianas, transmiten la información desde cada ojo hasta el quiasma óptico.
- **Quiasma óptico:** lugar anatómico donde confluyen ambos nervios ópticos y se produce la decusación de aproximadamente el 53% de los axones de las células ganglionares. Son las fibras de las retinas nasales las que se entrecruzan, mientras que las temporales continúan sin cruzarse.
- **Cintillas ópticas:** construidas por las fibras que llevan información de la misma zona del campo visual, es decir, por las fibras retinianas temporales homolaterales y las nasales contralaterales. Las cintillas nos llevan las fibras hasta el cuerpo geniculado lateral o hasta el resto de n úcleos del encéfalo donde vayan a hacer sinapsis.<sup>12</sup>

#### La vía genículo-cortical:

El cuerpo geniculado lateral (CGL) es la estación de relevo de la información visual y es tan preciso que realiza una transmisión exacta punto a punto. Es una estructura cuyas células se agrupan en seis capas numeradas desde la 1 la más ventral, hasta la 6 la más dorsal. Debido a que los axones de las retinas nasales se entrecruzan en el quiasma, a cada CGL le llega información de ambos ojos de la misma porción de campo visual. Sin embargo, estas señales provenientes de cada ojo se mantienen separadas. En cada CGL, las capas 1,4 y 6 reciben fibras de la retina nasal del ojo contralateral; mientras que a las capas 2,3 y 5, llegan las procedentes de la retina temporal del ojo homolateral.

A parte de esto, el CGL se divide de otra forma:

- Ruta dorsal o magnocelular: es la ruta “donde”, procesa la información relativa al movimiento y a la profundidad.
- Ruta ventral o parvocelular: es la ruta “que”, proporcionan testimonio del color y la forma.<sup>9-11, 13</sup>

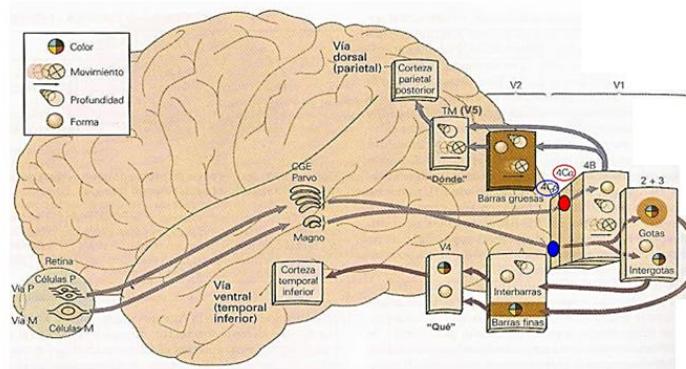


Imagen 1: representación de la ruta dorsal y ruta ventral.

Además, también existen las llamadas capas koniocelulares, que están formadas por células muy pequeñas dispuestas en seis finos estratos debajo de las magnocelulares y parvocelulares. Esta capa transmite información de los conos azules de la retina, es decir, las longitudes de onda corta.<sup>13, 14</sup>

### Vías extrageniculadas

Como ya se ha mencionado antes la mayoría de las fibras siguen la vía principal haciendo sinapsis en el cuerpo geniculado lateral y posteriormente continúan hasta el córtex occipital. Sin embargo, aproximadamente un 10% de estas fibras abandonan esta vía antes de llegar al cuerpo geniculado dirigiéndose hacia otros destinos.

- **Núcleo supraquiasmático del hipotálamo (NSQ):** es el reloj endógeno del cuerpo, quien controla los ritmos circadianos. Recibe información a través de la vía retinohipotalámica y geniculohipotalámica sobre la iluminación ambiente y así sincronizar las actividades con el medio externo.<sup>15</sup>
- **Área prectectal:** al llegar al CGL las fibras se desvían y llegan al área prectectal y posteriormente al núcleo de Edinger-Westphal. A partir de aquí surgen las fibras parasimpáticas que llegarán al ojo para controlar la acomodación del cristalino y la contracción de la pupila. Por otro lado las fibras simpáticas se originan en la medula espinal y llegarán al iris para controlar la dilatación pupilar.<sup>16</sup>
- **Colículos superiores o tubérculos cuadrigéminos:** reciben información de la retina, corteza visual, medula espinal y núcleos del tronco cerebral. Las fibras retinianas procedentes de las cintillas ópticas llegan a las capas superficiales de los tubérculos cuadrigéminos a través de los brazos conjuntivales. Las fibras corticotectales, originarias de los lóbulos parietal, frontal, temporal y occipital, también llegan a los colículos superiores, aunque no a través de los brazos. De los colículos superiores se proyectan fibras dirigidas hacia los núcleos pulvinares, los núcleos prectectales y los núcleos geniculados dorsolaterales.<sup>17</sup> Las células que forman los colículos son de gran tamaño y sirven para la percepción de movimiento de "manchas luminosas". Además, los colículos superiores también reciben información procedente del sistema somatosensorial y auditivo. Por tanto, se

llegó a la conclusión que esta área controlaba la fijación ocular, movimientos sacádicos y la orientación de los ojos y del cuerpo coordinado con movimientos de cabeza hacia los estímulos que se desencadenan en el campo visual.<sup>18</sup>

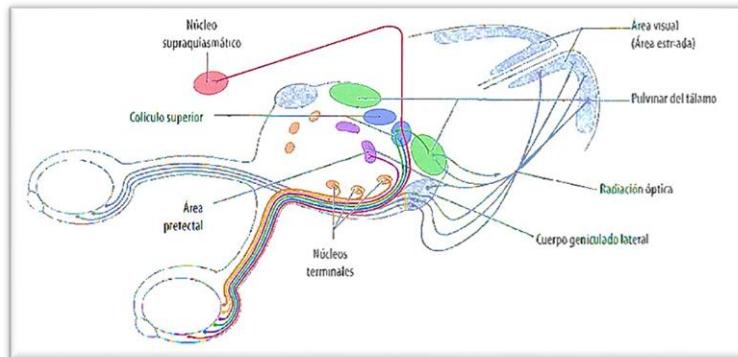


Imagen 2: porción no genicular de la vía óptica.

- **Núcleos pulvinares:** los más grandes del tálamo, concretamente situados en la parte posterior de este. Recibe fibras aferentes directamente de la retina y de los colículos superiores y las envía a las áreas 17, 18 y 19 de Brodmann. Este núcleo posee un mapa del hemisferio visual contralateral retiniano. Su función no está del todo clara pero se cree que está vinculado con la integración de la información visuomotora.<sup>9, 18</sup>
- **Sistema óptico accesorio:** algunos axones de las cintillas ópticas se desvían para terminar por un lado en los núcleos vestibulares, y por otro, en los núcleos terminales situados en el tegmento del mesencéfalo, que son tres: el dorsal, lateral y medial. Están relacionados con el movimiento optocinético, es decir, movimientos de sacudida como si siguieran objetos que pasan rápidamente.<sup>9, 19</sup>
- **Núcleos motores del tronco encefálico:** los músculos extraoculares encargados de controlar los movimientos del ojo están inervados por tres pares craneales cuyos núcleos están interconectados a través del fascículo longitudinal medial. Asimismo, el área prectal también recibe fibras procedentes de la corteza frontal oculo-motora (área de fijación voluntaria) a través del tracto frontotectal. Desde los colículos superiores y el área prectal las fibras se dirigen hacia los núcleos de los nervios oculomotores.<sup>11, 17, 19</sup>

Los movimientos oculares conjugados están coordinados por diferentes núcleos situados en el tronco del encéfalo. Los movimientos horizontales de mirada se procesan en el núcleo de la formación reticular pontina paramediana (FRPP), mientras que los movimientos verticales de los ojos se programan en el núcleo intersticial rostral del fascículo longitudinal medial (irFLM).<sup>19</sup>

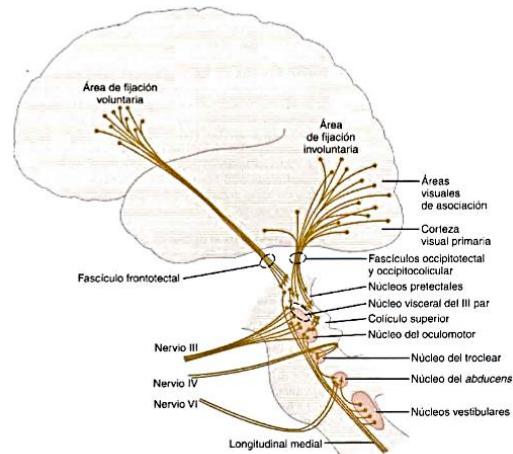


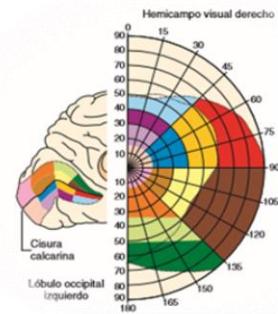
Imagen 3: vías nerviosas para el control de los movimientos conjugados de los ojos.

### 1.2.2. CORTEX VISUAL: LOCALIZACIÓN, ARQUITECTURA Y FUNCIONES.

#### Arquitectura y funciones de la corteza visual (áreas 17,18 y 19)

Las áreas corticales visuales están concentradas en el lóbulo occipital. El área visual primaria (**V1**) o área 17 de Brodmann, situada en la cisura calcarina presenta una citoarquitectura muy característica y se denomina corteza estriada. Las áreas circundantes a V1, de citoarquitectura diferente, se conocen como córtex preestriado (áreas de Brodmann 18 y 19):

- **V2**: adyacente a V1 se sitúa en las cisuras semilunar e inferior occipital. Los puntos contiguos de V1 conectan con puntos contiguos de V2, lo que da lugar a un mapa de V1 detallado repetido en V2. El resultado, es que el cuadrante retiniano contralateral inferior (campo visual superior) tiene su localización en la parte inferior de V2, y que el cuadrante contralateral superior (campo visual inferior) lo tiene en la parte superior.



*Imagen 4: representación del campo visual en el córtex.*

- **V3**: situada en el área 18 de Brodmann, recibe un input punto por punto, desde V1. Por lo tanto, la retina también está representada topográficamente, en forma especular respecto al área V2.
- **V3A**: contigua a V3, comparte ciertas características funcionales con V3, pero no recibe input directo procedente de V1, sino un fuerte input desde V3. Como las anteriores, está situada en el área 18 de Brodmann.
- **V4**: procesa la visión del color.
- **V5**: responde selectivamente a distintos tipos de movimientos.
- **V6**: esta área tiene un mapa retiniano muy poco convencional y existen pruebas fisiológicas recientes que sugieren que entre sus funciones puede situarse la representación del espacio en el cerebro.

Cada una de estas áreas coopera con una o más áreas satélites para una misma función.<sup>8, 20, 21</sup>

#### Áreas de asociación secundaria

- **Área Psicosomestésica (5 y 7)**: lesiones o daños irreversibles en estas áreas pueden ocasionar Ataxia Óptica, que es la incapacidad de dirigir los movimientos hacia un objeto que se ve con claridad.
- **Circunvoluciones temporales media e inferior (20,21)**: Esta área es fundamental para la comprensión de una imagen visual. Sus daños producen efectos variados e incluyen desde incapacidad para reconocer rostros familiares (prosopagnosia) hasta perdida del color en ciertas partes del campo de la visión. La lesión del giro angular del hemisferio dominante produce en el individuo la incapacidad para comprender los símbolos.
- **Córtex frontal y prefrontal (8, 9, 10, 11)**: movimientos oculares de arriba abajo y sacádicos.

- **Área de Broca (44 y 45):** involucrada con la producción del habla, el procesamiento del lenguaje y la comprensión gramatical. A nivel visual, lesiones en esta área, pueden suponer la incapacidad para entender el significado de textos complejos.

### **1.2.3. VISIÓN BINOCULAR Y ESTEREOPSIS.**

La estereopsis es el tercer estadio de la visión binocular que únicamente se puede alcanzar cuando existe percepción simultánea de cada ojo por separado, y posteriormente la fusión de estas dos imágenes de dos dimensiones en una sola tridimensional.

Como ya se mencionó la corteza visual primaria está dividida en 6 capas. La capa IV está compuesta solamente por células simples receptoras de estímulos monoculars. En las capas contiguas II, III, V y VI es donde se produce la fusión de las imágenes producidas por cada ojo. En estas capas retinianas es donde se encuentran las células binoculares las cuales fusionaran los puntos retinianos correspondientes.<sup>2</sup>

Hace 50 años a través de unos experimentos realizados en gatos, se descubrió que una pequeña parte de esta fusión de imágenes está producida por el cuerpo calloso. Esta estructura se compone por el mayor haz de fibras de todo el sistema nervioso conectando los dos hemisferios cerebrales. Debido a esta comunicación de las fibras, pueden fusionarse exactamente de modo topográfico los campos visuales, y en cada hemisferio cerebral se puede obtener una imagen instantánea completa del mundo exterior.

Hay que señalar que las fibras decusadas a nivel del cuerpo calloso no enlazan con toda el área cortical 17 del lóbulo occipital (área visual primaria), sino que simplemente conectan con una pequeña área de la zona foveal correspondiente a 2 grados centrales de campo visual.<sup>2,22</sup>

## **1.3. ELECTROENCEFALOGRAFÍA (EEG)**

“Se denomina electroencefalograma (EEG) al registro de la actividad eléctrica cerebral desde la superficie craneal”. El EEG es el resultado de la actividad de las neuronas piramidales en la zona ubicada en la proximidad de un electrodo explorador. No representa la actividad de potenciales de acción de los axones, sino que es un registro de los potenciales sinápticos y dendríticos. Esto es posible gracias a que las dendritas de este tipo de neuronas están organizadas de forma perpendicular al córtex, permitiendo así el registro de su actividad.<sup>23</sup>

### **1.3.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA.**

Fue a finales del siglo XVIII cuando se empezó a descubrir la actividad eléctrica cerebral, no obstante, su descubrimiento en humanos no fue hasta 1870, cuando los médicos alemanes, Fritsch y Hitzig, descubrieron la capacidad del cerebro para recibir estímulos eléctricos y producir una respuesta involuntaria. Pero fue Caton en 1875, quien, usando un galvanómetro, consiguió registrar las corrientes eléctricas mediante sus experimentos realizados en distintos animales.

Hubo que esperar hasta el 6 de julio de 1924 cuando el neuropsiquiatra alemán y candidato al premio Nobel, Hans Berger, inventó un sistema para registrar sobre el cuero cabelludo la actividad eléctrica cerebral, registrando con éxito la actividad cerebral de su hijo Klaus. Sin embargo, con la llegada del régimen Nazi abandonó sus investigaciones y hasta una década más tarde, poco antes de su suicidio, no se confirmó este descubrimiento.

### **1.3.2. APLICACIONES Y MANIOBRAS DE EEG.**

Desde entonces la técnica de la electroencefalografía ha ido desarrollándose permitiéndonos utilizarla para el diagnóstico y localización de enfermedades y en muchos casos la intensidad de posibles lesiones.<sup>4, 6, 24</sup>

Durante el registro de un electroencefalograma podemos inducir malestar al paciente con diversas maniobras con motivo de detectar anomalías:

- **Fotoestimulación:** a través de una secuencia de flashes nos intenta revelar algunos síndromes de epilepsia mostrados a través de grafoelementos anormales.
- **Privación del sueño:** está demostrado que reducir horas de sueño destapa problemas epileptiformes que no se detectan con un electroencefalograma estándar.
- **Hiperventilación:** genera anomalías focales o difusas, sean o no de tipo epiléptico, localizadas por un cambio en las ondas que se registran.
- **Sobresalto:** en un momento de tranquilidad se asusta al paciente, ya que pueden tener crisis iniciadas por sobresaltos.
- **Despertar:** al realizar electroencefalografía durante el sueño es necesario despertarlo y observar si aparecer alteraciones en esta fase.<sup>6, 25</sup>

### **1.3.3. ONDAS Y REGISTRO DEL EEG.**

#### **Electrodos y montajes**

Los encargados de recibir la señal eléctrica cerebral, son unas piezas metálicas que se denominan electrodos. Nos facilitan la conducción de los potenciales eléctricos hasta el sistema de amplificación. Es necesario que mantengan un contacto firme para garantizar una impedancia baja (resistencia al paso de la corriente) y minimizar la presencia de artefactos.<sup>6, 26</sup>

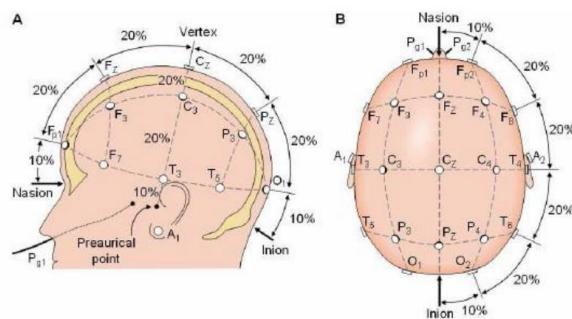
Según su localización diferenciamos entre dos tipos:

- Electrodos superficiales o extracraneales, habitualmente utilizados sobre el cuero cabelludo pero también los hay faciales o semiinvasivos.
- Electrodos neuroquirúrgicos o intracraneales insertados en el tejido nervioso.<sup>4</sup>

La posición de cada electrodo nos viene definido por una letra y por un número. La letra corresponde a cada área cerebral (PG: oocular, FP: frontopolar, F: frontal, P: parietal, C: central, T: temporal, A: auricular y O: occipital), en cuanto a los números, los que son pares se encuentran en el hemisferio derecho y los que son impares en el hemisferio izquierdo. Los electrodos colocados en la línea media trazada desde el násigra hasta el inión y que divide la

cabeza en dos hemisferios no llevan número, van identificados con la letra Z (de “zero” en inglés). Gracias a esta manera de ordenar los electrodos sabremos a que localización cerebral pertenece cada línea.<sup>27</sup>

A pesar de que existen diferentes sistemas de posicionamiento de los electrodos superficiales, el sistema internacional 10-20 es el más utilizado, el cual nos permite comparar resultados de diferentes estudios. Los electrodos se colocan en posiciones determinadas mediante dos ejes de coordenadas trazados desde el nasión hasta el inión y el otro entre los puntos preauriculares de los pabellones auditivos.<sup>4,6</sup>



*Imagen 5: sistema de posicionamiento internacional 10- 20.*

Las diferencias de potencial recojidas por los electrodos se denominan derivaciones, y un conjunto de derivaciones forman un montaje. Principalmente encontramos dos montajes:

- El monopolar o referencial: mide la diferencia de potencial entre un punto activo del cuero cabelludo y otro inactivo que suele ponerse en el lobulo de la oreja, nariz o el mentón.
- El bipolar: donde se mide la diferencia entre dos puntos activos. El número de montajes que se puede formar es ilimitado.<sup>24</sup>

### Ondas cerebrales en el adulto

Se obtienen a través de electrodos colocados sobre la superficie del cuero cabelludo en lugares estándares y organizados a modo de montajes. Los electrodos reciben señales complejas que son el resultado del sumatorio de las actividades de cada neurona. La información resultante de cada canal se muestra en trazados donde cada línea del EEG representa la diferencia de potencial registrada entre dos puntos a lo largo del tiempo.

Para interpretar los datos correctamente es necesario haber adquirido bastante experiencia. Se trata de un idioma de lectura donde hay que aprender sus grafoelementos por los cuales el cerebro nos muestra información.<sup>4,6</sup>

Durante todo momento, las neuronas cerebrales generan impulsos eléctricos que son conocidas con el nombre de ondas cerebrales. Un adulto en situación de vigilia produce varios tipos de ritmos con diferentes características que las identifican. Entre ellos están:

	Frecuencia (Hz)	Amplitud (μV)	Localización	Características
Alfa	8 - 13	20 - 60	Temporo-parieto-occipital	Durante el sueño desaparecen, con ojos abiertos se reducen y ojos cerrados se localizan mejor. <sup>24, 28</sup>
Beta	13 – 20	<15	frontal	Al activar intensamente el SNC y en movimientos oculares rápidos durante sueño.
Theta	4 - 7	<50	temporal	En niños y jóvenes, o en adultos con estrés. <sup>25,28</sup>
Delta	1 – 5	>50	temporal	En adultos durante vigilia muestra deterioro intelectual. <sup>28</sup>
Gamma	30-45	<50	Ningún área concreta	Confirman enfermedades cerebrales.
Lambda	4-10	<20	occipital	En vigilia durante lectura o movimientos de rastreo.
Mu	8-10	20-60	Fronto-central	Se bloquean con movimientos contralaterales. <sup>6, 25</sup>

Tabla 1: Ondas cerebrales del adulto.

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos del siguiente estudio son:

- 1) Introducirnos en la tecnología de registro de electroencefalografía digital para lo que primeramente deberemos conocer más en profundidad la estructura y la función de las vías visuales desde que percibimos una imagen hasta que la procesamos.
- 2) Realizar el análisis de la visión binocular de manera objetiva.
- 3) Localizar si existe algún electrodo o área cerebral que pueda ser útil para la evaluación de la visión binocular

## 3. ESTADO ACTUAL Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.

De acuerdo con los objetivos de estudio, sus resultados nos permitirán encontrar el alcance de estas técnicas en la valoración objetiva de la estabilidad binocular y valorar su aplicación en la práctica clínica e investigación optométrica.

Debido al carácter innovador del trabajo, son pocos los estudios realizados hasta el momento que tengan cierta similitud. Algunos de los estudios realizados mediante EEG relacionados con la visión se centran en la interacción de la memoria con la percepción visual<sup>29</sup>, la capacidad

para distinguir imágenes con ciertas frecuencias reducidas<sup>30</sup>, registrar el confort visual durante visualizaciones estereoscópicas<sup>31</sup> y analizar el estrés causado al proyectar imágenes que transmiten diferentes emociones.<sup>32</sup>

Se realizaron otros estudios similares mediante la técnica de potenciales evocados visuales para desarrollar de manera objetiva una forma de evaluar la atención visual.<sup>33</sup>

#### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **4.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA**

La información obtenida para desarrollar el presente trabajo se ha obtenido en su mayoría de búsquedas bibliográficas realizadas en la Biblioteca de la Universidad de Zaragoza, así como del servicio “Google Books” donde se pueden realizar consultas de libros online.

Toda esta información se ha complementado con artículos y tesis obtenidas principalmente a través del motor de búsquedas “PubMed” y la colección de bases de datos de “Biblioteca Cochrane”.

Para encontrar la información adecuada se utilizaron palabras clave como por ejemplo: “neurophysiology”, “binocular vision”, “visual pathways”, “visual cortex”, “EEG”, “brain waves”, “neuroimaging”, “vergences”.

##### **4.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO**

Vamos a estudiar el sistema cortical en condiciones de vergencias verticales forzadas a través de las ondas obtenidas en la electroencefalografía digital.

Hablamos de vergencias cuando nos referimos a aquellos movimientos disyuntivos de los ojos cuya finalidad es mantener la fusión de una escena observada a una distancia fija. En este experimento se hace referencia a las vergencias verticales las cuales se miden con respecto a uno de los dos ojos, ya que la infravergencia de un ojo equivale a la supravergencia del otro y viceversa.<sup>34</sup> En nuestro caso equivaldría a introducir un desplazamiento de prisma base superior en el ojo derecho.

##### **4.3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA**

Se invitó a participar a varios jóvenes del entorno de la Universidad de Zaragoza, los cuales acudieron de manera voluntaria a las instalaciones del *spin off* de la susodicha universidad, BitBrain Technologies. El total de sujetos que se muestrearon fueron 10, de los cuales hubo 8 mujeres y 2 hombres.

Criterios de inclusión:

- Edades comprendidas entre 20 y 26 años.
- Medios ópticos transparentes.
- Tener una agudeza visual estereoscópica  $< 80''$ .
- Emétropes o amétropes corregidos con lentes de contacto que tengan  $AV \geq 1.0$ .

Criterios de exclusión:

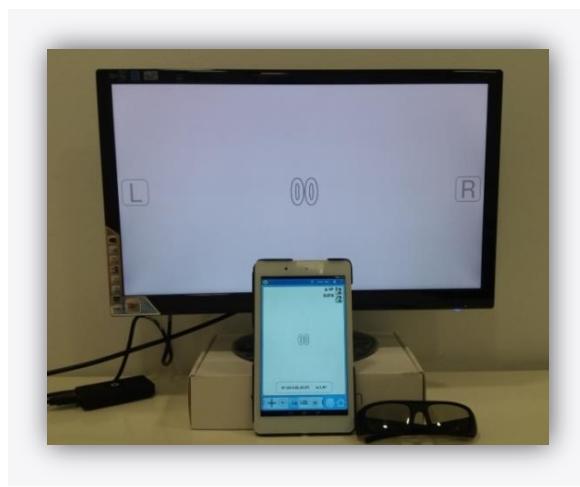
- Dificultades físicas o mentales que puedan influir en la correcta toma de medidas.
- Patologías en el sistema nervioso central.
- Opacidades en los medios refractivos.
- Ametropías elevadas y anisometropías  $> 2$  Dioptrias

#### 4.4. MATERIAL DE MEDIDA

La herramienta elegida para evaluar la función visual tomando las medidas de las vergencias fusionales verticales ha sido OptoTab, un instrumento basado en Android desarrollado por SmarThings4Vision.<sup>35</sup>

El test visual presentado para crear un esfuerzo vergencial consistía en contornos de números a modo de vectograma (SNMV) como se muestra en la figura 7, dicho test fue mostrado sobre un monitor polarizado (AOC e2352Phz).

Mediante una Tablet (BQ Edison 3 Mini) sincronizada inalámbricamente con OptoTab controlamos la demanda vergencial del test durante la toma de medidas.



*Imagen 6: Se muestra el material utilizado: pantalla polarizada, tableta digital y gafas polarizadas.*

Las señales EEG fueron captadas a través de un electroencefalógrafo Refa de la compañía TMSI (*Twente Medical Systems International*) con electrodos húmedos a base de agua. El software utilizado para controlar la toma de medidas del electroencefalograma fue Neurolab. La frecuencia de muestreo es de 256 Hz, o lo que es lo mismo, 256 muestras por segundo.

#### **4.5. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA**

La toma de medidas a los sujetos con el EEG se realizó con la colaboración de la empresa BitBrain Technologies, especializada en neurociencia y neurotecnología. Se llevaron a cabo en una tranquila habitación de sus instalaciones con una luz ambiente fotópica en las mismas condiciones para todos los sujetos. Se desarrollaron en 2 sesiones de 8 horas de duración cada una.

Contamos con la ayuda de tres profesionales para realizar los registros del EEG y para colocar correctamente el casco con los electrodos a cada sujeto. El autor del trabajo se encargó de la parte optométrica del estudio, controlando la tablet para medir las vergencias fusionales verticales.

Antes de proceder a la toma de cualquier medida, se le explicó a los sujetos el procedimiento de la prueba, los riesgos que podían presentarse y la potestad para suspender la prueba en cualquier momento, para ello primero leyeron y firmaron el consentimiento informado (anexo I) para poder participar en el estudio.

##### **4.5.1. PREPARACIÓN DE LA PRUEBA.**

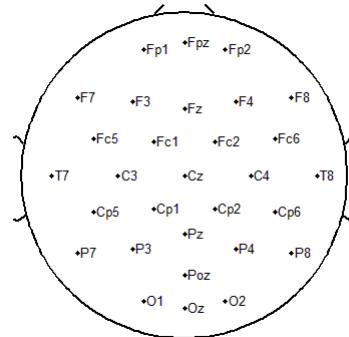
En primer lugar, se familiarizó a los sujetos con la prueba y les pedimos que durante el registro de EEG estuvieran lo más relajados e inmóviles posible, fijando su atención todo el tiempo en el estímulo visual que les mostrábamos en la pantalla.

Colocábamos sentado al sujeto cómodamente en una silla a una distancia de 1 metro de la pantalla donde se le iban a mostrar los test visuales. Se les recomendó acudir con el pelo aseado y en ausencia de espumas o gominas para evitar artefactos.

En este estudio utilizamos los electrodos superficiales colocados en el casco de malla sobre el cuero cabelludo. Primero el propio paciente se ajustó el casco elástico y posteriormente se aplicaron los 32 electrodos, 2 de ellos se colocaban en el lóbulo de la oreja como electrodos de referencia. Además, en el brazo se le ajustaba una muñequera que hacia la función de toma de tierra. Estos electrodos funcionan a base de agua, no es necesario rascar la piel ni añadir ningún tipo de gel para conseguir una buena conducción de las ondas cerebrales. En esta prueba el sistema de posicionamiento de los electrodos ha sido el 10-20.

A continuación, se iban humedeciendo las esponjas de cada electrodo y se colocaban en contacto con el cuero cabelludo hasta comprobar que las impedancias eran adecuadas, es decir, que había buena conductividad en el punto de registro y la señal recibida fuese buena.

Una vez colocados los electrodos se le entregaban al paciente las gafas polarizadas y procedíamos a instruirle en la prueba. Es importante que el paciente estuviese cómodo, relajado e inmóvil mirando fijamente la pantalla sin mover los ojos.



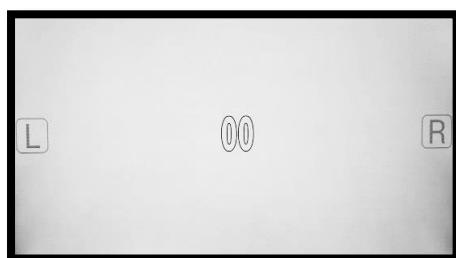
*Imagen 7 (izquierda): colocación del paciente e Imagen 8 (derecha): disposición de los 30 electrodos.*

Aprovechando el tiempo que suponía la aplicación de los electrodos, se adaptaba el monitor a la altura de los ojos para que las gafas cortasen adecuadamente luz polarizada que este emite. Además se aprovechaba para revisar que el test estaba calibrado correctamente para una distancia de 1 metro y un tamaño angular de 3.96º. El tamaño angular usado era próximo a los 4º para asegurarnos que la imagen del test se proyectase principalmente en la fóvea.

#### 4.5.2. TOMA DE MEDIDAS.

La primera parte consistía en un periodo de aprendizaje para explicarle la prueba al paciente y donde evaluábamos de forma rápida sus vergencias verticales para tenerlas de referencia. Seguidamente se realizaba un registro del estado basal con los ojos abiertos y cerrados para conocer las condiciones en las que el paciente se encuentra en reposo.

Se realizaron 4 registros de 10 segundos en diferentes estados visuales, en el momento en el que el paciente visualizaba cada uno de los estados que previamente había aprendido:



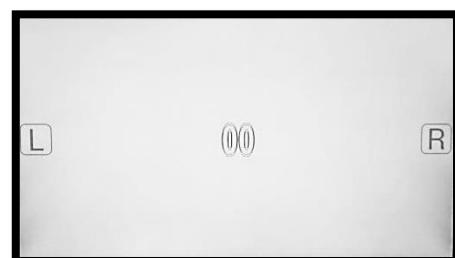
*Imagen 9: Estado 1, cuando todavía no se introduce potencia prismática.*



*Imagen 10: Estado 2, el paciente refiere rotura y no puede fusionar las dos imágenes.*



*Imagen 11: Estado 3: situando una imagen encima de la otra.*



*Imagen 12: Estado 4 o recobro, el paciente recupera la visión haplópica.*

Se repitió 8 veces la prueba para tener varios registros. Para finalizar se volvió a realizar una toma del estado basal con ojos abiertos y cerrados.

Mientras se realizaba el registro del EEG, se anotaban los valores en dioptras prismáticas de las vergencias verticales (anexo II).

#### 4.5.3. LIMPIEZA DE LOS DATOS OBTENIDOS.

Los datos registrados se importaron y analizaron en Matlab (versión 8.1.0.604) con la herramienta EEGLAB (versión 13.5.4b). En primer lugar, se filtraron individualmente todos los registros de 10 segundos de los cuatro estados para dejar solamente los hervios más provechosos que son los que comprenden entre 1 – 30 Hz.

Procedemos a concatenar las 8 repeticiones de los registros de 10 segundos para cada estado, creando así solamente un único registro por estado y paciente de 80 segundos.

A esta señal se le aplica el algoritmo ASR (*Artifact Subspace Reconstruction*) <sup>36</sup> con el que conseguimos limpiar el ruido de las ondas, es decir, nos quita los artefactos existentes como movimientos musculares, parpadeos o en nuestro caso las uniones de los múltiples registros.

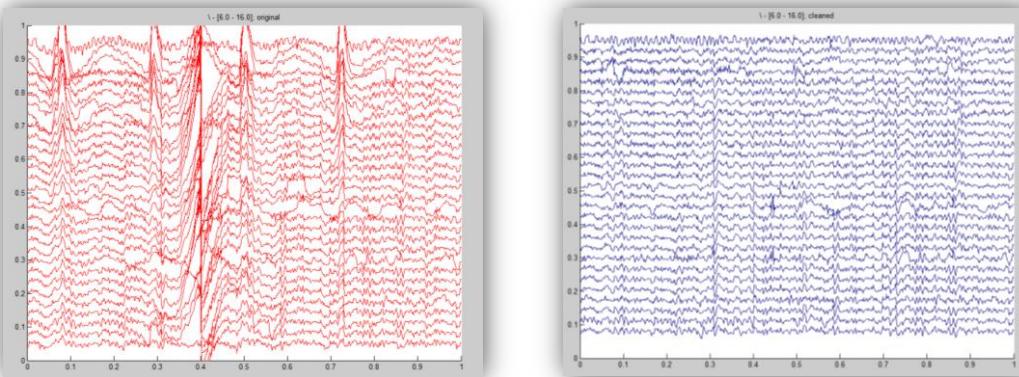


Imagen13 (izquierda): señal con artefactos e Imagen14 (derecha): señal libre de artefactos.

Por último con la ayuda de la función pwelch se calcularon las potencias para las onda alfa, beta y theta. Las ondas alfa comprenden de los 8 a 13 Hz, las beta se sacaron para los rangos 13-20 Hz y las theta para el rango 4-7 Hz.

#### 4.5.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.

Comparamos entre ellos los diferentes estados visuales inducidos de dos maneras, por electrodo y tipo de onda con el fin de obtener los p-valores con la ayuda del software R-Commander (anexo III). Al tratarse de series claramente pareadas y encontrarnos ante un grupo reducido de sujetos se ha elegido el Test no paramétrico de Wilcoxon. La hipótesis nula planteada es que no existen diferencias entre los valores de las ondas, proponiendo como hipótesis alternativa que existen diferencias en las ondas entre los estados visuales presentados.

## 5. RESULTADOS

Para la interpretación de los resultados se han elaborado distintos mapas de actividad cerebral, estos muestran el promedio de los 10 pacientes para cada electrodo y diferenciando potencias espectrales alfa y beta en cada uno de los cuatro estados.

También se han utilizado gráficos de columnas con motivo de transmitir los datos con la mayor claridad. Se busca comparar los diferentes estados entre sí para ver el cambio de las potencias espectrales en cada electrodo para cada onda y estado. Así pues, de una manera muy rápida podemos conocer en qué electrodo se registró un aumento de actividad (potencias espectrales positivas) y en cuáles disminuyó (potencias espectrales negativas). En el eje de ordenadas se representa la potencia espectral, mientras que en las abscisas se muestran los 30 electrodos ordenados desde el más anterior al más posterior. Cada columna representa el valor promedio de la diferencia de potencias espectrales entre dos estados. Además, se han señalado en color rojo los electrodos en los que existen p-valores estadísticamente significativos, es decir, aquellos en los que su p-valor es  $< 0.05$ . Es por tanto en estos electrodos donde mediante el análisis estadístico se aceptaría la hipótesis alternativa de que existe un cambio significativo entre las potencias para los estados a comparar.

### 5.1. ANÁLISIS DE LAS ONDAS ALFA

#### 5.1.1. ESTADO BASAL O VISION BINOCULAR

La imagen expuesta a continuación representa el mapa topográfico de la actividad de las ondas alfa durante el primer estado del examen, los electrodos de colores cálidos representan los de mayor actividad y los de colores fríos los de menor actividad. Podemos observar en qué áreas se localiza principalmente la actividad. El pico máximo de actividad fue  $3.89E+09 \mu V^2$  para el electrodo Fp1 y el de menor actividad fue Fp2 con un registro de  $8.38E+08 \mu V^2$ .

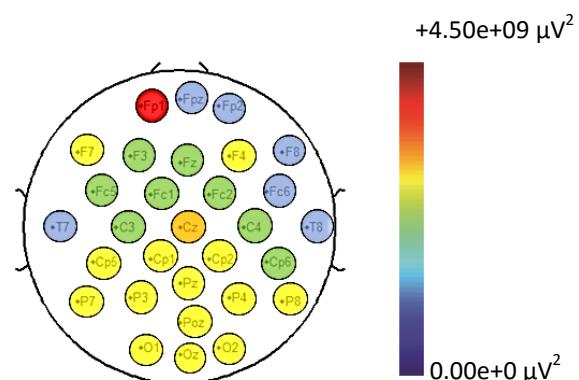


Imagen 15: mapa topográfico basal de actividad alfa.

#### 5.1.2. ROTURA

Observamos que la actividad es muy similar al estado anterior, el electrodo de mayor actividad sigue siendo Fp1 con una actividad de  $3.92E+09 \mu V^2$  y el de menor actividad el Fp2 que registró una actividad de  $8.56E+08 \mu V^2$ .

A diferencia del estado anterior podemos ver que ha aumentado la actividad del electrodo Oz.

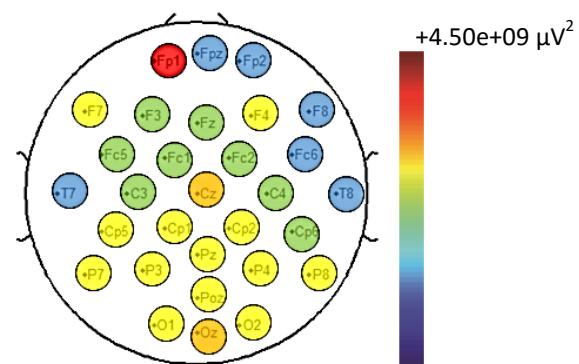


Imagen 16: mapa topográfico de rotura con actividad alfa.

### 5.1.3. VISIÓN BIOCULAR DISOCIADA

Aunque la actividad sigue concentrándose en las mismas zonas, si observamos claros cambios, Fp1 ya no es el electrodo de mayor actividad, ahora lo es Cz con un registro de  $2.78E+09 \mu V^2$  y Oz ahora registra menos actividad.

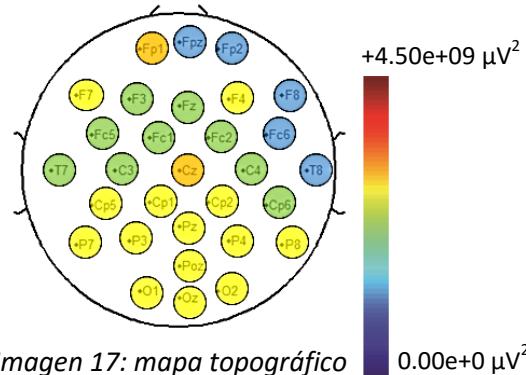


Imagen 17: mapa topográfico biocular con actividad alfa.

#### 5.1.4. RECOBRO

Es en este estado donde encontramos más variación, Fp1 registra aquí su pico de máxima actividad  $4.02\text{E}+09 \mu\text{V}^2$  respecto al resto de electrodos y en todos los estados. Sucede lo mismo con Cz que aumenta su actividad a  $3.49\text{E}+09 \mu\text{V}^2$ . De igual manera aumentan su actividad C1,C2,P4,P8,F7.

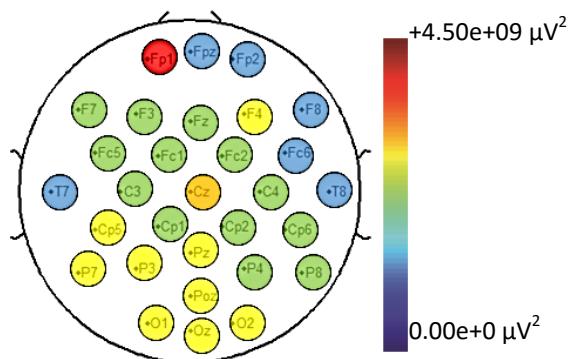


Imagen 18: mapa topográfico de recobro con actividad alfa.

### 5.1.5. ANÁLISIS DE MUESTRAS PAREADAS (ESTADO VS ESTADO)

En lo que respecta a los resultados obtenidos de las ondas alfa, se puede observar en los gráficos que, en cualquiera de las comparaciones realizadas entre dos estados, la potencia espectral no ha sufrido un gran cambio. Por tanto, las columnas obtenidas no son demasiado elevadas, aunque de manera aislada en alguna grafica si encontramos algún electrodo que destaca sobre el resto, lo cual no significa que este sea estadísticamente significativo, es decir que su actividad no ha variado significativamente de un estado a otro.

Como podemos ver en la siguiente grafica la tendencia general al producirse la rotura es un aumento de la actividad de las ondas alfa, el electrodo que ha registrado este aumento de forma más significativa ha sido Oz

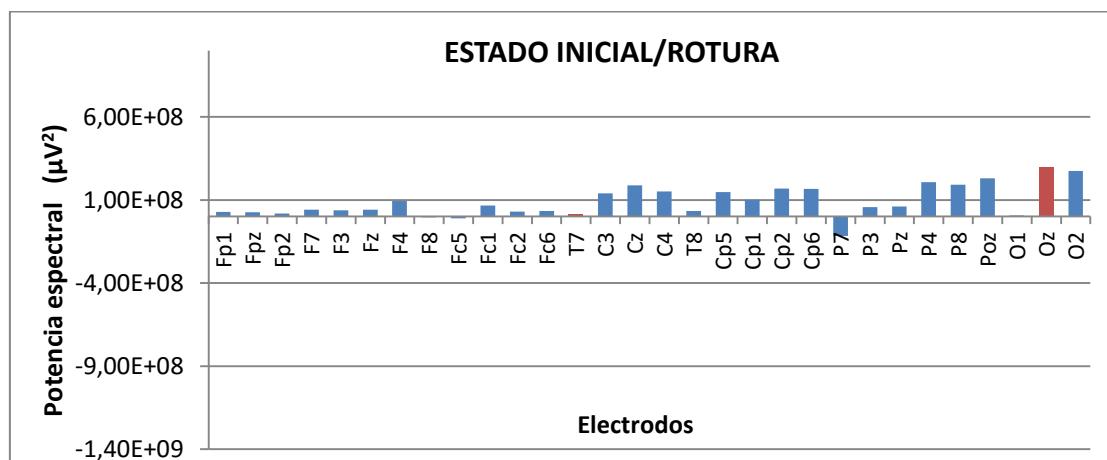


Gráfico 1: comparación entre el estado inicial y rotura para ondas alfa.

Al comparar la visión binocular con la binocular inicial observamos un aumento menor de la actividad alfa e incluso un descenso en algunos electrodos (Fp1, F8, Fc2 y Pz), sin embargo ningún electrodo registro un cambio de potencia estadísticamente significativo.

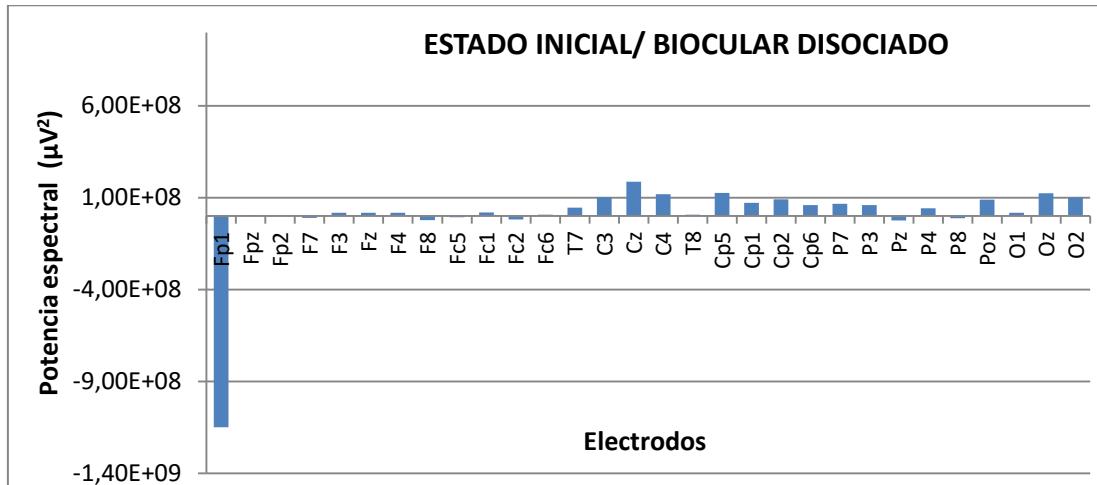


Gráfico 2: comparación entre el estado inicial y con diplopía forzada para ondas alfa.

El comportamiento de las ondas alfa de la siguiente grafica muestra un descenso de su actividad, no es así para el electrodo Cz, el cual continúa aumentando su actividad. Sin embargo, el electrodo que registro un cambio actividad significativo fue Oz.

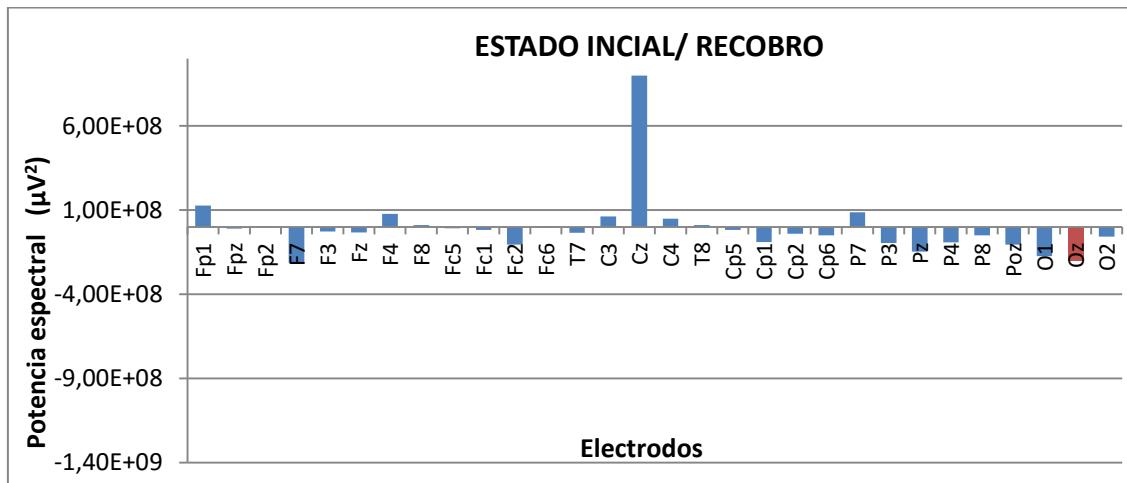


Gráfico 3: Comparación entre el estado inicial y el recobro para ondas alfa.

Cuando comparamos la actividad de las ondas alfa entre el momento de rotura y la visión binocular, observamos un claro descenso de potencia, no obstante, entre estos estados ningún electrodo registro un cambio significativo de actividad.

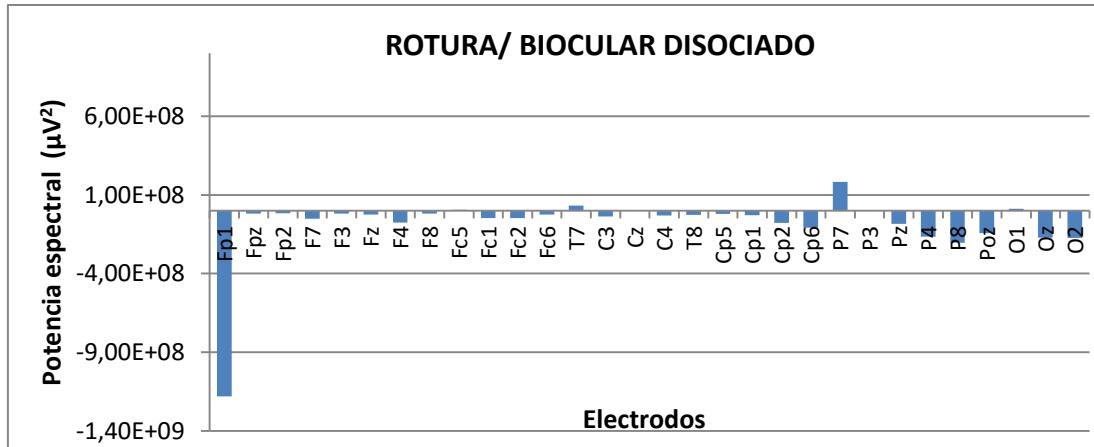


Gráfico 4: comparación entre el estado de rotura y el biocular disociado para ondas alfa

Todo lo contrario, sucede cuando comparamos el recobro con la rotura, donde de nuevo la actividad alfa aumenta. No sucede lo mismo con el electrodo Cz, que registró el mayor descenso de su actividad.

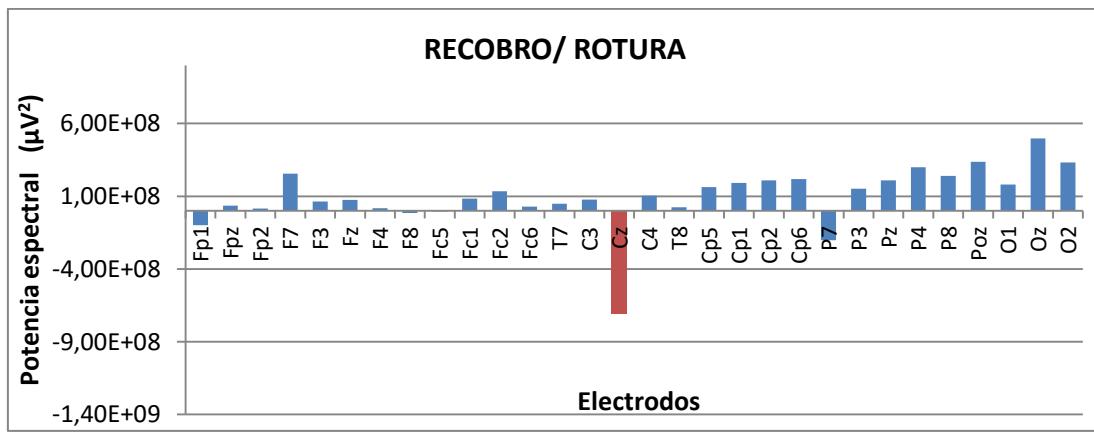


Gráfico 5: comparación entre el estado de recobro y el de rotura para ondas alfa.

Si comparamos ahora el recobro con su estado anterior (visión biocular), observamos una tendencia muy parecida a la anterior, únicamente el electrodo Cp2 registró un cambio significativo de su actividad.

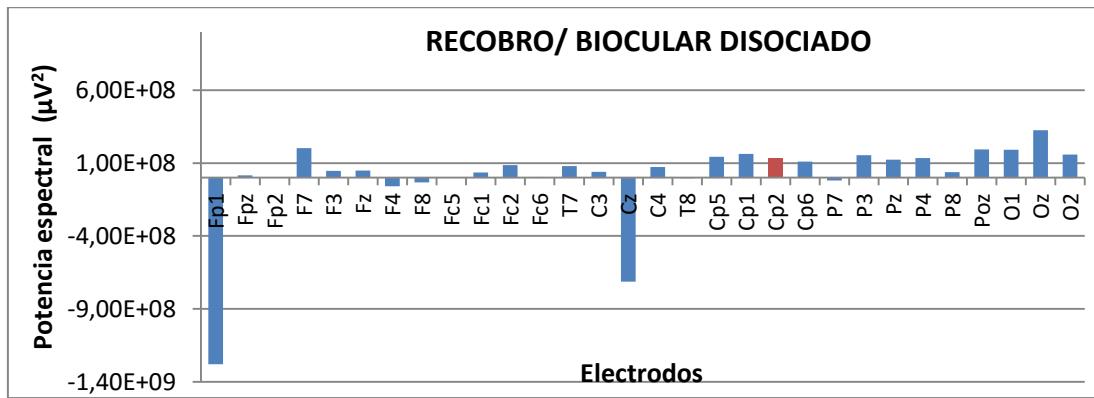


Gráfico 6: comparación entre el estado de recobro y el biocular disociado para ondas alfa.

## 5.2. ANÁLISIS DE LAS ONDAS BETA

### 5.2.1. ESTADO BASAL O VISION BINOCULAR

La mayoría de los electrodos registraron una actividad similar, excepto Fp1 que fue el de mayor actividad  $3.01E+09 \mu V^2$  y Fpz y Fp2 los de menor actividad.

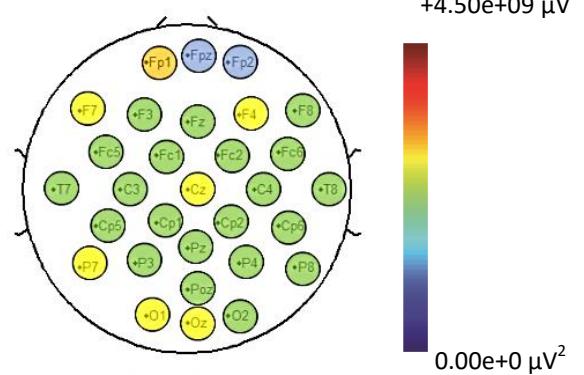


Imagen 19: mapa topográfico basal de actividad beta.

### 5.2.2. ROTURA

Podemos apreciar un descenso generalizado de la actividad de las ondas beta, y aunque Fp1 haya disminuido ligeramente su actividad, sigue siendo el que mayor registro ha realizado.

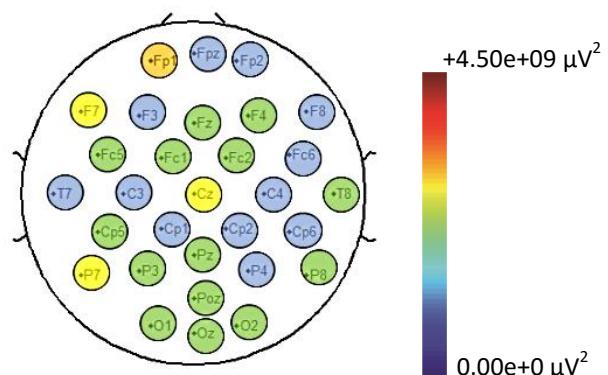


Imagen 20: mapa topográfico de rotura de actividad beta.

### 5.2.3. VISION BIOCULAR DISOCIADA

Se observa un ligero aumento de actividad en algunos electrodos en los que anteriormente había disminuido, no es así para Fp1 que al contrario que los demás electrodos, disminuye su actividad.

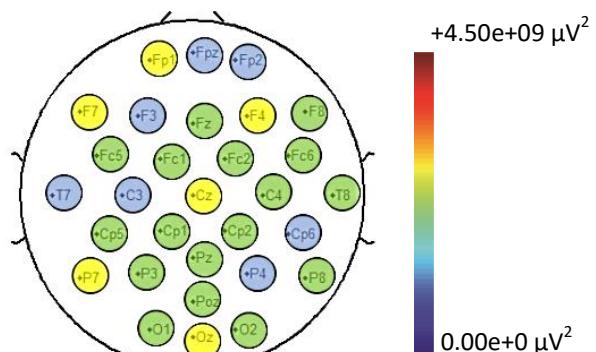


Imagen 21: mapa topográfico biocular de actividad beta.

### 5.2.4. RECOBRO

De nuevo la actividad beta aumenta de forma generalizada, creando un mapa muy similar al del estado inicial. Fp1 aquí cambia su tendencia a decrecer y registra su pico de actividad  $3.26E+09 \mu V^2$ .

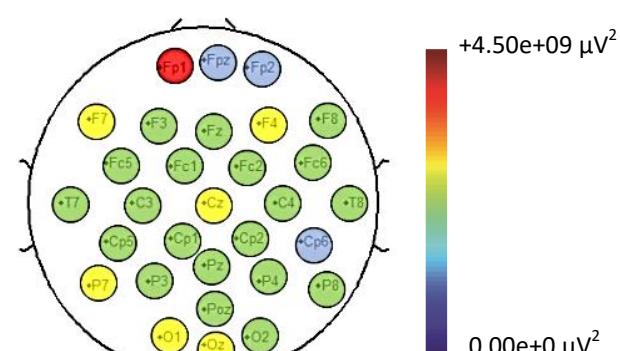


Imagen 22: mapa topográfico de recobro de actividad beta.

### 5.2.5. ANÁLISIS DE MUESTRAS PAREADAS (ESTADO VS ESTADO)

En cuanto a los graficos que nos muestran los resultados de ondas beta, lo mas característico es que en la mayoría de ellos la potencia decrece al cambiar de estado aunque los valores no son muy elevados y tampoco encontramos unas barras muy prominentes. En este tipo de ondas encontramos mas valores significativos en los electrodos que en el caso de las alfa.

Como habiamos observado anteriormente en el mapa de colores durante la rotura, observamos un descenso generalizado de la actividad de las ondas beta. En el analisis de este tipo de ondas, practicamente todos los electrodos registraron un descenso significativo de actividad.

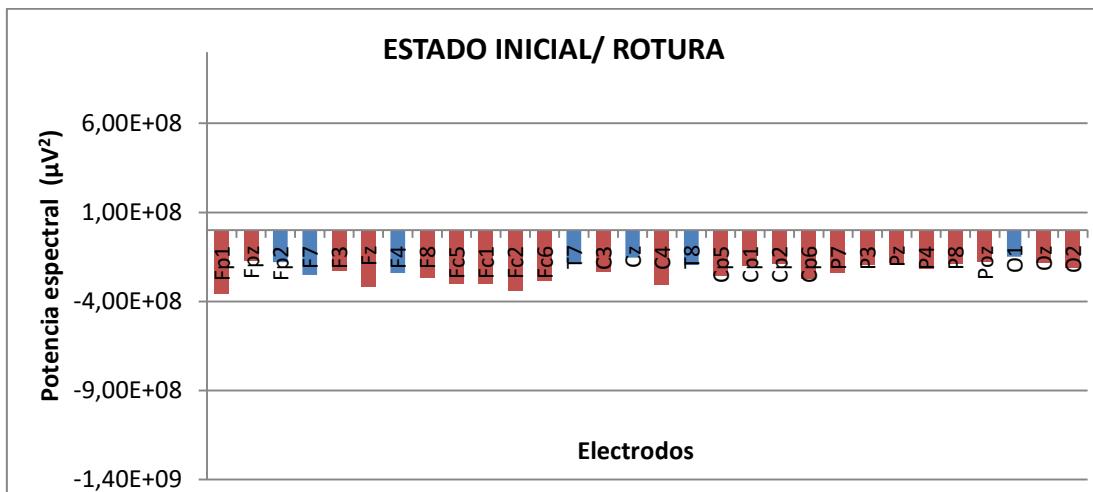


Gráfico 7: *comparación entre el estado inicial y de rotura para ondas beta.*

Podemos comprobar que la actividad de Fp1 continua decreciendo respecto al estado inicial y de forma más acentuada que el resto de electrodos.

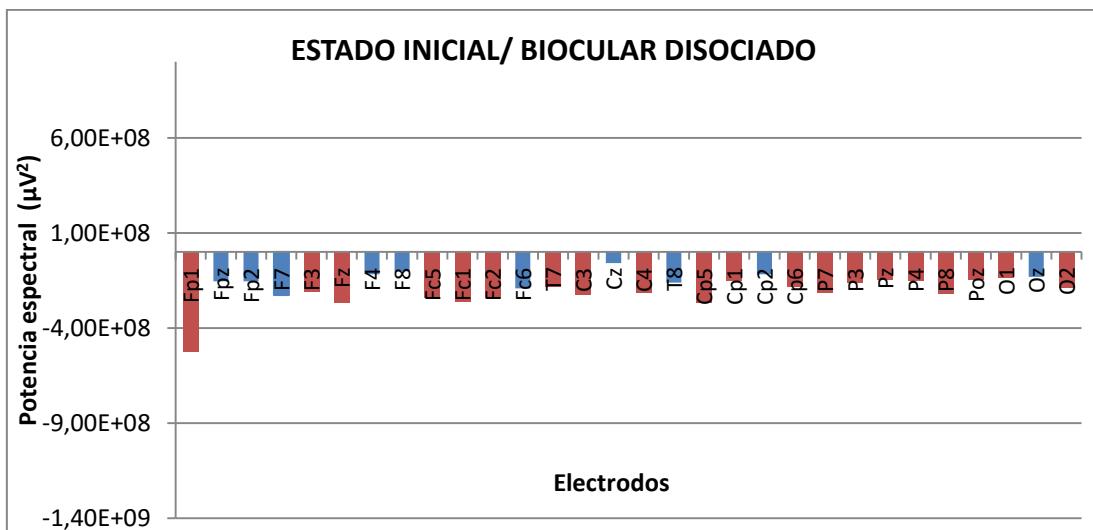


Gráfico 8: *comparación entre el estado inicial y con biocular para ondas beta.*

En este punto ya no observamos un descenso tan generalizado como en las gráficas anteriores, y podemos ver ese aumento de la actividad de Fp1 que anteriormente habíamos mencionado, aunque respecto a la actividad inicial no sea un aumento significativo.

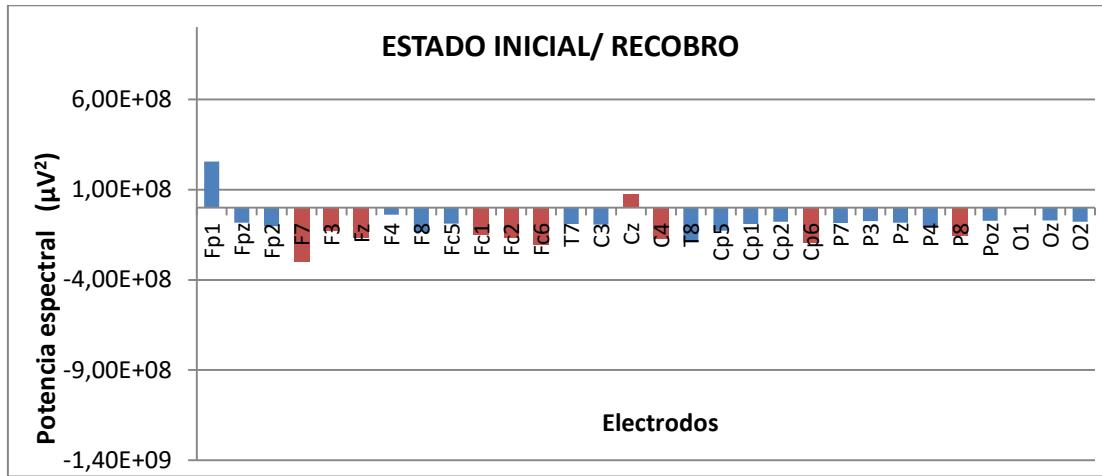


Gráfico 9: *Comparación entre el estado inicial y el recobro para ondas beta.*

Si comparamos ahora el recobro con su estado anterior (visión binocular), se aprecia un claro aumento de potencia en todos los electrodos, no obstante, es aquí cuando se produce el descenso de potencia en Fp1, como anteriormente podíamos apreciar en los mapas de colores. A demás cabe destacar que, entre estos dos estados, ningún electrodo registró un cambio significativo de potencia.

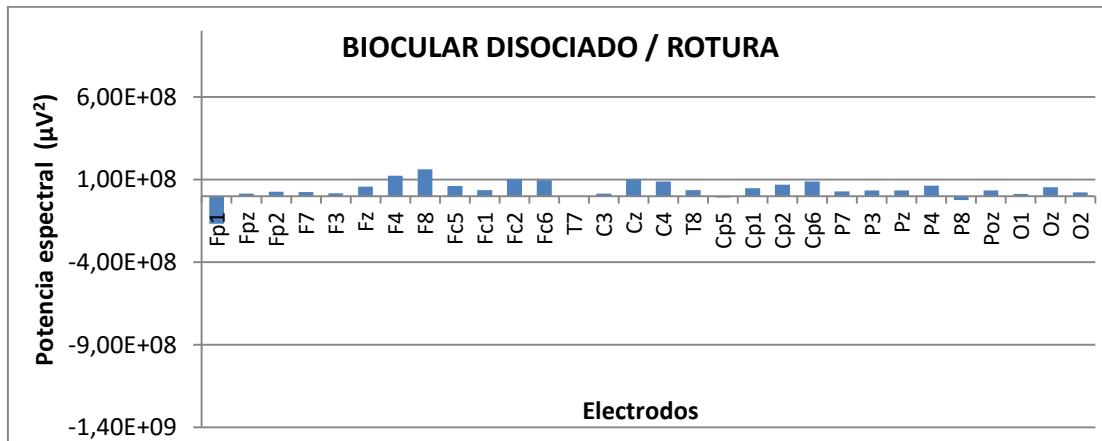


Gráfico 10: *comparación entre el estado biocular disociado y el de rotura.*

En la gráfica que se muestra a continuación observamos un aumento generalizado de las ondas beta pero sin duda el electrodo más característico es Fp1 que resalta sobre el resto. De

la misma manera también queda reflejado este aumento de actividad en los mapas topográficos de las imágenes 20 y 22.

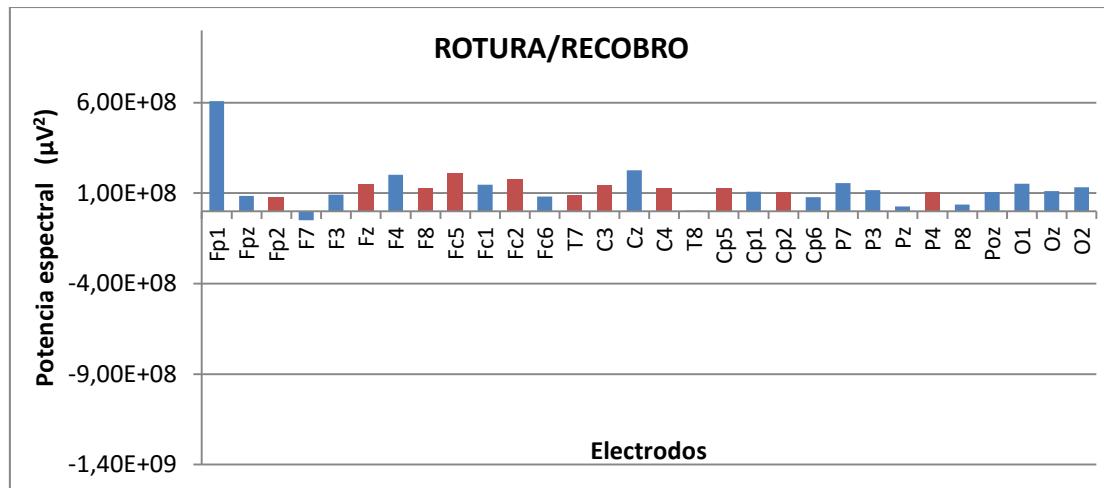


Gráfico 11: comparación entre el estado de recobro y el de rotura para ondas beta.

Lo mismo sucede cuando comparamos el recobro y el estado biocular, encontrando más actividad en este último, sobretodo en el electrodo Fp1.

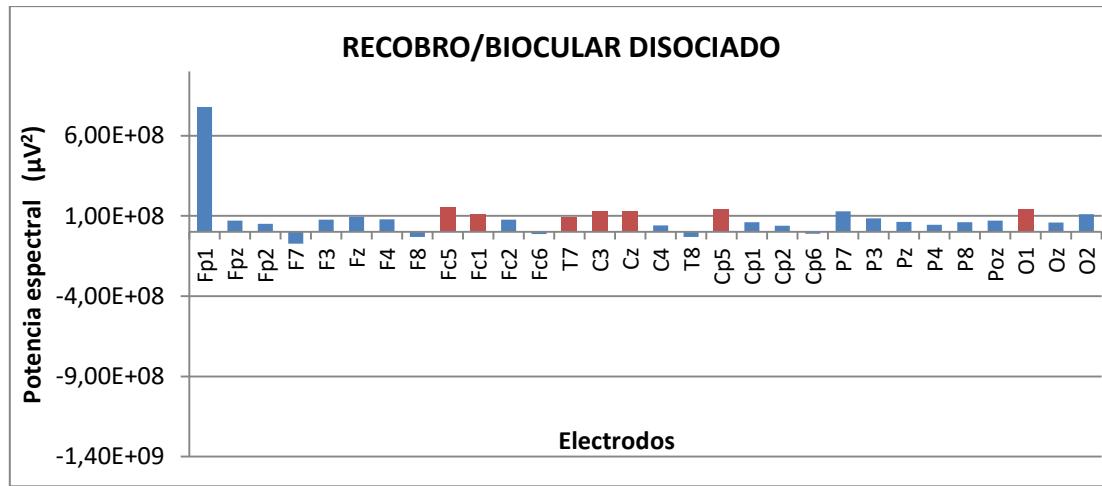


Gráfico 12: comparación entre el estado de recobro y el de diplopía forzada para ondas beta.

## 6. DISCUSIÓN

Con la ayuda del EGG hemos registrado la actividad cerebral en 30 puntos diferentes mientras sometíamos a los sujetos a un proceso paulatino de vergencias verticales forzadas. Para ver de manera más clara el comportamiento que se ha producido entre los estados inducidos, los resultados se muestran haciendo una comparación entre ellos.

En primer lugar, haciendo referencia a los resultados obtenidos de las vergencias verticales tomadas conjuntamente con registro del EEG, encontramos la gran mayoría de medidas dentro de los rangos de normalidad. Tenemos que destacar que, en el estado de visión binocular, cuando le pedíamos al paciente que colocase los vectogramas en forma de número uno sobre el otro, las potencias prismáticas de todos los sujetos coinciden en torno a valores de  $6.7\Delta$ , por lo que descartaríamos la existencia de forias verticales.

Centrándonos en los resultados del electroencefalograma obtuvimos que al comparar los estados visuales para cada electrodo y tipo de onda muchos valores fueron significativos, es decir, su p-valor es  $< 0.05$ , descartando todos aquellos que superaban esta cifra (anexo III).

Si observamos las tablas de los p-valor, la cantidad de valores significativos aumenta cuando se compara cualquiera de los estados con el momento en el que se tenían los ojos cerrados mientras se tomaban los potenciales basales. Estos resultados nos muestran sobretodo una mayor actividad en las ondas alfa tal y como se explicó con anterioridad en la tabla 6 y con lo encontrado en la bibliografía.<sup>24, 28</sup>

Según los estudios de Heo<sup>37</sup> y Brouwer<sup>38</sup> las situaciones de estrés se pueden ver reflejadas en los electrodos Fc5, Fc6, O1 y O2, aumentando las ondas beta y disminuyendo las alfa. Suponiendo que se causara estrés cuando forzamos las vergencias verticales hasta su rotura deberíamos encontrar una situación similar a esta.

Como se ha mostrado en los gráficos y puede verse reflejado también en los mapas, al comparar el estado inicial con el estado de rotura vemos que en este último las ondas alfa aumentan mientras que las beta disminuyen, justo de manera contraria a lo que muestran los estudios anteriores.<sup>37, 38</sup> Además en las ondas alfa no se han encontrado valores significativos en los electrodos que nos marcaba el estudio, pero si en Oz situado entre O1 y O2. Los valores más característicos hallados al cambiar de estado fueron en las ondas beta, debido a que sufrieron cambios más significativos encontrándose p-valores  $< 0.05$  en la mayoría de los electrodos, encontrándose entre ellos Fc5, Fc6, O2 y también Oz.

La explicación a la contrariedad anterior podría deberse a que el registro de los datos se tomó después de que el paciente nos indicase rotura, por lo que ya no se encontraría en un estado de estrés y sus ojos habrían vuelto a posición primaria de mirada.

Al comparar la visión binocular con la visión binocular las ondas alfa se mantienen prácticamente igual, además no se encuentran p-valores significativos, por lo que las ondas no han sufrido una gran variación. Por el contrario, las ondas beta disminuyen de forma generalizada en todo el encéfalo como nos muestran las ondas betas relativas.

Cotejando el estado de rotura con la visión binocular observamos que no existen p-valores inferiores a 0.05, por lo que la variación en la actividad de las ondas no ha sido elevada. Esto puede deberse a que al romper la fusión los ojos vuelven a la posición primaria de mirada como se encuentran al analizar la visión binocular y simplemente estamos viendo dos imágenes separadas en mayor o menor medida. Por tanto, se podría afirmar que estas dos situaciones son similares ya que se están mostrando dos imágenes que el paciente percibe de manera disociada y que no es capaz de fusionar.

Siguiendo la línea anterior en el caso de recobro tendríamos un hipotético proceso de relajación cuando el ojo vuelve a obtener visión haplópica. Las posiciones de los ojos en este estado y el de partida serían un poco diferentes, por lo que teóricamente podríamos encontrar actividad en los electrodos situados en la zona posterior del encéfalo ya que es donde se llevan a cabo los movimientos involuntarios. Si nos fijamos en las ondas alfa vemos que no hay mucha variación en la zona anterior, pero si se registra un leve cambio en la zona parietal y occipital. Las ondas beta muestran una disminución de la potencia espectral de forma generalizada.

Cuando comparamos la rotura respecto al estado de recobro volvemos a obtener resultados contradictorios a los de los estudios. Aumentan las ondas alfa sobre todo en los 15 electrodos posteriores y disminuye la actividad beta de forma similar en todo el cerebro.

Por último, los resultados hallados al confrontar la situación binocular respecto al de recobro muestran que en el primer estado las ondas alfa han aumentado mientras que las beta han disminuido levemente como se observa en los gráficos 6 y 12, por tanto en la fase de recobro sucede lo contrario. Esto nos muestra una paradójica situación de estrés en el recobro a causa de que las ondas alfa disminuyen y las beta aumentan cuando en este periodo debería suceder lo contrario.

## 7. CONCLUSIONES

Del presente estudio podemos concluir que:

- Las ondas alfa elevan su actividad con los ojos cerrados, mientras que disminuyen al abrirlos.
- No se encuentran muchos valores significativos en las ondas alfa sucediendo todo lo contrario para las beta.
- No podemos confirmar que una situación de vergencias verticales forzadas cause estrés visual.

Algunas de las posibles mejoras que se pueden tener en cuenta son:

- Realizar un registro continuo para controlar lo que sucede antes, durante y después de cada estado inducido.
- Obtener mayor número de sujetos de estudio con el fin de conseguir mayor fiabilidad en los test estadísticos.
- Realizar un estudio de asimetría comparando los resultados obtenidos de ambos hemisferios

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Hubel DH, Wiesel TN. El cerebro. 5<sup>a</sup> edición. Barcelona: Prensa científica; 1987.
- (2) Hubel DH. Eye, Brain and Vision. 2a ed. New York: W.H. Freeman and Company; 1995.
- (3) España. Ley 44/2003, de 21 de noviembre, de ordenación de las profesiones sanitarias. Boletín Oficial del Estado, 22 de noviembre de 2003, núm. 280, p. 41442.
- (4) Maestú Unturbe F, Ríos Lago M, Cabestrero Alonso R. Neuroimagen: técnicas y procesos cognitivos. Barcelona: Elsevier Masson; 2007.
- (5) ¿Qué conoces sobre las técnicas de neuroimagen? Tecnicas de neuroimagen. [Consulta: 10 de junio de 2016]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/tecnicasdeneuroimagen/>
- (6) Iriarte Franco J, Artieda González-Granda J. Manual de neurofisiología clínica. Madrid: editorial medica panamericana; 2013.
- (7) Pastor J, Solá RG. Fundamentos biofísicos de la magnetoencefalografía. Revista Neurológica 2002; 34(8).
- (8) Mai JK, Paxinos G. The human nervous system. 3<sup>a</sup> edición. Londres: Elsevier; 2012.
- (9) Soriano Mas C. Fundamentos de neurociencia. Barcelona: editorial UOC; 2007
- (10) Urtubia Vicario C. Neurobiología de la visión. Barcelona: Edicions UPC; 1996.
- (11) Clifton Guyton A M.D. Anatomía y fisiología del sistema nervioso. Neurociencia básica. 2<sup>a</sup> edición. Madrid: editorial medica panamericana; 1997.
- (12) Santiesteban Freixas R. Oftalmología pediátrica. La Habana: editorial Ciencias Médicas; 2010.
- (13) Procesamiento visual talámico. Neurociencia y comportamiento. Universidad de Sevilla. [Consultado: 20 de junio]. Disponible en:  
[http://alojoptico.us.es/portaleto/talamo\\_y\\_vision/NGL.htm](http://alojoptico.us.es/portaleto/talamo_y_vision/NGL.htm)
- (14) Espejo-Saavedra Roca JM, Taravillo Folgueras B. Psicobiología [en línea]. 2<sup>a</sup> edición. Madrid: CEDE; 2012. [http://www.pir.es/temas\\_muestra\\_2011/12.BIOLOGIA.pdf](http://www.pir.es/temas_muestra_2011/12.BIOLOGIA.pdf) [Consulta: 13 junio 2016].
- (15) Márquez de Prado García, Blanca. "Ritmos circadianos y neurotransmisores: estudios en la corteza prefrontal de la rata". Director: Francisco Mora Teruel. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de ciencias biológicas, 2004.
- (16) Clifton Guyton A M.D., Hall JE Ph.E. Tratado de Fisiología Médica. 12<sup>a</sup> edición. Barcelona: Elsevier; 2011.
- (17) Carpenter MB. Neuroanatomía: Fundamentos. 4<sup>a</sup> edición. Madrid: Editorial medica panamericana; 1994.

(18) Master COI. Fundamentos neurales de la función visual. [Consultado: 20 de junio de 2016].

Disponible en:

<http://www.fundacionvisioncoi.es/TRABAJOS%20INVESTIGACION%20COI/2/fundamentos%20neuronales.pdf>

(19) Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Prometheus: texto y atlas de anatomía. Tomo 3. Cabeza y Neuroanatomía. 2ª mejorada y ampliada ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010.

(20) Livingstone MS, Hubel D. Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, colour, movement and depth [en línea]. Journal of Neuroscience. Noviembre 1987. 7(II): 3.416-3.468. <http://www.jneurosci.org/content/7/11/3416.long> [consulta: 11 junio 2016]

(21) Livingstone MS, Hubel D. Segregation of form, colour, movement and depth: anatomy and perception [en línea]. Science. Mayo 1988, Vol. 240, No. 240, pp. 740-749. <http://hubel.med.harvard.edu/papers/HubelLivingstone1988Science.pdf> [consulta: 11 junio 2016]

(22) Perea García J. Estrabismos. 2ª edición. Toledo: Artes Gráficas Toledo; 2008.

(23) Cardinali DP. Neurociencia aplicada: sus fundamentos. Madrid: editorial medica panamericana; 2007.

(24) Hazemann P, Masson M. ABC de electro-encefalografía. Barcelona: Masson; 1982.

(25) Blume WT, Holloway GM, Kaibara M, Young GB. Blume. Atlas de Electroencefalografía en niños y adultos. Madrid: Libros Princeps. Biblioteca Aula Médica; 2012.

(26) Rowan AJ, Tolunsky E. Conceptos básicos sobre EEG: con mini-atlas. Madrid: Elsevier; 2004.

(27) Clínicas Rincón. Neurofisiología Málaga. [Consultado: 10 de abril de 2016]. Disponible en: <http://neurofisiologiagranada.com/eeg/eeg-comoselee.htm>

(28) Morillo LE. Guía neurológica 7. Bogotá: Asociación colombiana de neurología; 2005.

(29) Agam Y, Sekuler R. Interactions between working memory and visual perception: An ERP/EEG study. 2007; 36:933-942.

(30) Goffaux V, Mouraux A, Desmet S, Rossio B. Human non-phase-locked gamma oscillations in experience-based perception of visual scenes. 2004; 354:14-17.

(31) Frey J, Appriou A, Lotte F, Hachet M. "Classifying EEG Signals during Stereoscopic Visualization to Estimate Visual Comfort". 2015

(32) Rahnuma KS, Wahab A, Kamaruddin N, Majid H. "EEG analysis for understanding stress based on affective model basis function". 2011:1-6.

- (33) Willeford KT, Ciuffreda KJ, Yadav NK, Ludlam DP. Objective Assessment of the Human Visual Attentional State. 2013; 126(1): 29–44.
- (34) Pons Moreno AM, Martínez Verdú FM. Fundamentos de visión binocular. 1st ed. Universitat de València: PUV; 2004.
- (35) Palos Mateo F, Perchés Barrena S, Olloqui Martín V, Ares García J, Elía Guedea N, Rodríguez Pérez P, Angulo Yagüe S. SmarThings4Vision. 2015; [Consultado: 29 de mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.smarthings4vision.es/>
- (36) Swartz Center for Computational Neuroscience. Artifact subspace reconstruction. [Consultado: 23 de junio de 2016]. Disponible en: <http://sccn.ucsd.edu/eeglab/plugins/ASR.pdf>
- (37) Heo SH, Lee JT. Stress and EEG. Convergence and Hybrid Information Technologies 2001 Marzo 2010:413-426.
- (38) Brouwer AM, Neerincx M, Kallen VL, Van der Leer L. EEG alpha asymmetry, heart rate variability and cortisol in response to Virtual Reality induced stress. Journal of CyberTherapy & Rehabilitation 2011 Enero 2011;4(1):27-40.

### **Imágenes:**

(Imagen 1): Espejo-Saavedra Roca JM, Taravillo Folgueras B. Psicobiología [en línea].2ª edición. Madrid: CEDE; 2012. [http://www.pir.es/temas\\_muestra\\_2011/12.BIOLOGIA.pdf](http://www.pir.es/temas_muestra_2011/12.BIOLOGIA.pdf) [consulta: 13 junio 2016].

(Imagen 2): Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Prometheus: texto y atlas de anatomía. Tomo 3. Cabeza y Neuroanatomía. 2ª mejorada y ampliada ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010.

(Imagen 3): Clifton Guyton A M.D., Hall JE Ph.E. Tratado de Fisiología Médica. 12ª edición. Barcelona: Elsevier; 2011.

(Imagen 4): Conti F. Fisiología médica. 1era. ed. Capítulo 18 Fisiología de la visión. McGraw-Hill; 2010

(Imagen 5): Rowan AJ, Tolunsky E. Conceptos básicos sobre EEG: con mini-atlas. Madrid: Elsevier; 2004.

## 9. ANEXOS

### 9.1. ANEXO I

#### HOJA INFORMATIVA Y CONSENTIMIENTO INFORMADO

Ha confirmado usted su participación como voluntario en un estudio que se va a realizar en la empresa *BitBrain Technologies*, spin-off de la Universidad de Zaragoza, para evaluar diferentes estados visuales.

Es importante que lea esta hoja informativa con atención, nuestro equipo está a su disposición para aclararle cualquier duda.

El estudio consistirá en visualizar distintos elementos en 3D.

El objetivo del estudio es evaluar su respuesta fisiológica a diferentes estímulos visuales.

La participación en el estudio no representa ningún riesgo ni conlleva efectos secundarios. La tecnología de biometría utilizada es no invasiva, y permite recoger la actividad cerebral mediante distintos sensores. No existen efectos secundarios ni riesgo para embarazadas o mujeres en período de lactancia.

Para ello le será colocado:

- Un gorro con sensores sobre el cuero cabelludo para recoger la actividad del cerebro\*
- Una gafa polarizada de visión 3D.

Así mismo, deberá usted prestar su consentimiento a su participación en el estudio y al tratamiento de sus datos y cumplimentar una escala con su perfil sociodemográfico.

El estudio se realiza en un único día y tendrá una duración aproximada de 1h.

#### CONFIDENCIALIDAD Y PUBLICIDAD DE LOS DATOS

Para la realización del estudio le serán recabados determinados datos de carácter personal que se incorporarán a un fichero debidamente registrado en la Agencia Española de Protección de Datos del que ***Bit & Brain Technologies, S.L.*** y la ***Universidad de Zaragoza*** son titulares y responsables. El eventual tratamiento, comunicación y cesión de sus datos se realizará conforme a lo establecido en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre de Protección de Datos de carácter personal. Con su participación en el estudio y su firma, usted presta su consentimiento expreso y escrito para que cualquiera de sus datos de carácter personal, incluidos los sujetos a especial protección, puedan ser almacenados y utilizados por la entidad para los fines específicos de la investigación y responde de la veracidad, exactitud, vigencia, autenticidad y pertinencia de los mismos. Usted puede ejercitar gratuitamente sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición dirigiéndose por escrito a la titular de la dirección Paseo de Sagasta 19, Ento. Dcha 50008 Zaragoza para ***Bit & Brain Technologies, S.L.*** y Calle Pedro Cerbuna 12,50018 Zaragoza para ***Universidad de Zaragoza***.

#### DECLARACIÓN Y CONSENTIMIENTO

D/D<sup>a</sup>. \_\_\_\_\_, mayor de edad, declara haber leído la presente hoja de información, haber recibido información suficiente sobre el estudio y haber podido realizar consultas sobre el mismo, prestando su consentimiento libre a su participación. Así mismo declara haber sido informado del carácter voluntario del estudio y comprende que puede retirarse del mismo en cualquier momento sin necesidad de justificar su decisión.

Expresamente consiente que los resultados de este estudio sean incluidos en publicaciones científicas y/o comerciales y divulgados públicamente, en el bien entendido de que en ningún caso se transmitirá ningún dato que pueda llevar a su identificación como participante.

Y para que conste lo firma en \_\_\_\_\_, a \_\_\_\_\_

**DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS**

IDENTIFICACIÓN	
Nombre	
Apellidos	
Fecha de nacimiento	
Lugar de nacimiento	
Lugar de residencia	
DATOS DE CONTACTO	
Correo electrónico	
Teléfono	
PERFIL	
Sexo	<input type="radio"/> Hombre
	<input type="radio"/> Mujer
Estado Civil	<input type="radio"/> Soltero/a
	<input type="radio"/> Casado/a-Pareja de hecho
	<input type="radio"/> Separado/a
	<input type="radio"/> Divorciado/a
	<input type="radio"/> Viudo/a
Nivel de estudios terminado	<input type="radio"/> Sin estudios
	<input type="radio"/> Graduado Escolar
	<input type="radio"/> Estudios secundarios: BUP, Bachiller, FP
	<input type="radio"/> Estudios universitarios o superiores
	<input type="radio"/> Otros
Situación laboral	<input type="radio"/> Trabajando
	<input type="radio"/> Parado/a (disponible y en busca de empleo)
	<input type="radio"/> Estudiando
	<input type="radio"/> Jubilado/a o retirado/a del trabajo
	<input type="radio"/> Incapacitado/a permanente
	<input type="radio"/> Dedicado/a las labores del hogar
	<input type="radio"/> realizando sin remuneración trabajos sociales, actividades benéficas...
<input type="radio"/> Otras (indicar):	
Profesión	<input type="radio"/> Directores y gerentes
	<input type="radio"/> Técnicos y profesionales científicos e intelectuales
	<input type="radio"/> Técnicos y profesionales de apoyo
	<input type="radio"/> Empleados contables, administrativos y otros empleados de oficina
	<input type="radio"/> Trabajadores de los servicios de restauración, personales, protección y vendedores
	<input type="radio"/> Trabajadores cualificados del sector agrícola, ganadero y pesquero
	<input type="radio"/> Artesanos y personal cualificado de las empresas manufactureras y de construcción
	<input type="radio"/> operadores de instalaciones y maquinaria y montadores
	<input type="radio"/> Trabajos no cualificados
	<input type="radio"/> Ocupaciones militares
	<input type="radio"/> Otros (indicar):

Sus datos de carácter personal se incorporarán a un fichero debidamente registrado en la Agencia Española de Protección de Datos del que **BitBrain Technologies, S.L.** y **Universidad de Zaragoza** son titulares y responsables. El eventual tratamiento, comunicación y cesión de sus datos se realizará conforme a lo establecido en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre de Protección de Datos de carácter personal. Con su participación en el estudio y su firma, usted presta su consentimiento expreso y por escrito para que cualquiera de sus datos de carácter personal, incluidos los sujetos a especial protección, puedan ser almacenados y utilizados por la entidad para los fines específicos de la investigación y responde de la veracidad, exactitud, vigencia, autenticidad y pertinencia de los mismos. Usted puede ejercitar gratuitamente sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición dirigiéndose por escrito a la titular de la dirección Paseo de Sagasta 19, Ento. Dcha 50008 Zaragoza para **Bit & Brain Technologies, S.L.** y Calle Pedro Cerbuna 12,50018 Zaragoza para **Universidad de Zaragoza**.

## 9.2. ANEXO II

Registro 1			Registro 2			Registro 3			Registro 4		
Rotura	biocular	recobro									
2	6,5	1,6	2,5	6,5	1,1	1,7	6,4	1	1,8	6,5	1,4
1	6,5	1,4	2,2	6,5	1,4	2,2	6,5	1,7	2,2	6,5	1,7
0,5	6,7	0,3	0,5	6,7	0,3	0,5	6,7	0,2	0,3	6,7	0,3
1,4	6,5	1	2,2	6,8	1,1	1,7	6,7	1,3	1,5	6,7	1,4
1,3	6,8	0,6	1,1	6,7	0,5	1	6,7	0,3	1,1	6,8	0,6
2	6,5	0,6	1,8	6,5	0,8	2,2	6,5	0,8	2	6,5	0,8
1,8	6,7	0,8	2	6,5	0,6	1,8	6,7	1	1,7	6,8	1
1,3	6,7	1,1	1,3	6,5	1	1,4	6,7	1,3	1,4	6,7	1
2,7	6,5	1,7	2,5	6,5	1,5	3	6,7	1,7	3	6,8	1,5
2,2	6,5	1,7	1,8	6,4	1,3	2,2	6,5	1,5	2,7	6,5	1,7

Registro 5			Registro 6			Registro 7			Registro 8		
Rotura	biocular	recobro									
2,3	6,4	1	2	6,5	1	2	6,5	1,1	2	6,5	1
2,3	6,5	1,7	2,3	6,5	1,7	2,2	6,5	1,7	2,5	6,5	1,7
0,3	6,7	0,3	0,2	6,7	0,2	0,5	6,7	0,3	0,3	6,7	0,2
1,4	6,7	1	1,4	6,7	1,1	1,7	6,8	1,3	1,1	6,7	1,1
1	6,7	0,6	1	6,8	0,6	1	6,7	0,3	1,1	6,8	0,5
1,8	6,5	1,1	2,3	6,5	1	2,2	6,5	1	2,2	6,5	1,1
2,2	6,7	0,8	2,3	6,7	1	2,5	6,7	0,8	2	6,7	0,6
1,3	6,7	1	1,1	6,7	1,1	1,4	6,8	1,1	1,4	6,8	1,1
3	6,5	1,5	2,8	6,8	2	3	6,7	1,7	2,5	6,8	1,8
2,3	6,5	1,3	2,2	6,7	1,4	2,3	6,5	1,1	2,5	6,7	1,4

### 9.3. ANEXO III

P-valores calculados comparando todos los estados entre sí, para todos los electrodos. Estado 1: inicial, estado 2: recobro, estado 3: rotura, estado 4: binocular, estado 5: ojos abiertos y estado 6: ojos cerrados.

Alfa y beta: potencias espectrales, alfa 2 y beta 2: potencias relativas.

Colores rojos: p-valores calculados con Diferencia < 0, Colores azules: p-valores calculados con Diferencia > 0.

El estado 3/4 no contiene valores significativos.

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Fp1 ALFA					0,04199								0,04199	0,04199
Fp1 BETA		0,04147	0,02632				0,03223							
Fp1 ALFA 2						0,02441			0,0486				0,04199	
Fp1 BETA 2	0,03223				0,03223				0,006836		0,03223		0,01855	0,01087

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Fpz ALFA				0,0009766	0,0009766			0,004883	0,0009766	0,03223	0,000977	0,007185	0,0009766	0,0009766
Fpz BETA		0,03223			0,01855				0,006836		0,00293	0,04199	0,001953	0,002945
Fpz ALFA 2					0,009766				0,01367				0,01367	0,01367
Fpz BETA 2		0,04199			0,004883				0,04199				0,04199	0,03223

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Fp2 ALFA				0,009766	0,0009766			0,006836	0,0009766	0,02441	0,000977	0,006836	0,0009766	0,0009766
Fp2 BETA					0,001953	0,004883			0,0009766	0,04199	0,000977	0,009766	0,0009766	0,0009766
Fp2 ALFA 2					0,009766	0,02441	0,04199		0,009766				0,01367	0,01827
Fp2 BETA 2				0,03223	0,004883							0,03223	0,04199	

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
F7 ALFA					0,01855				0,004883		0,01367		0,00293	0,004576
F7 BETA	0,03318				0,01855				0,006836					
F7 ALFA 2													0,04199	0,01367
F7 BETA 2					0,001953				0,004883				0,00293	0,02201

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
F3 ALFA				0,01367	0,0009766			0,01228	0,0009766		0,00293	0,000977	0,01648	0,0009766
F3 BETA	0,02441	0,02441	0,01367						0,0009766		0,000977	0,01367	0,0009766	0,0009766
F3 ALFA 2					0,006836	0,02441	0,006836		0,00293				0,004883	0,00293
F3 BETA 2		0,01367	0,00098	0,01855	0,007185									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Fz ALFA				0,01827	0,0009766			0,007185	0,002945	0,04199	0,000977	0,004883	0,0009766	0,0009766
Fz BETA	0,03223	0,02068	0,02441		0,004883	0,03223			0,0009766	0,009766	0,000977	0,004883	0,0009766	0,0009766
Fz ALFA 2					0,01242	0,02441			0,004883				0,004883	0,006836
Fz BETA 2	0,04199	0,009766	0,00488	0,01827	0,00293									0,04199

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
F4 ALFA				0,007185					0,0009766		0,001953		0,0009766	0,001953
F4 BETA														
F4 ALFA 2					0,006836	0,01855			0,004883				0,004883	0,006836
F4 BETA 2		0,04199		0,03223	0,00293									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
F8 ALFA					0,0009766				0,0009766		0,009766	0,0009766	0,0009766	
F8 BETA		0,0161				0,01855					0,001953			0,0161
F8 ALFA 2					0,006836	0,04199			0,009491				0,004883	0,006836
F8 BETA 2	0,03223	0,02632		0,004883	0,001953				0,009491		0,01367	0,009766	0,004883	0,02068

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Fc5 ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
Fc5 BETA		0,006836	0,01367			0,01416	0,008859				0,004883		0,006836	0,0009766
Fc5 ALFA 2					0,006836	0,004576	0,006426	0,03778	0,00293				0,00293	0,00293
Fc5 BETA 2	0,03318	0,0161	0,00488	0,01648	0,007185									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Fc1 ALFA					0,0009766			0,01416	0,0009766		0,000977	0,02441	0,0009766	0,0009766
Fc1 BETA	0,03714	0,01855	0,03318		0,01367		0,04619		0,0009766	0,02624	0,000977	0,01641	0,0009766	0,0009766
Fc1 ALFA 2					0,009766		0,01855		0,004883				0,004883	0,00293
Fc1 BETA 2	0,03778	0,006836	0,00098	0,006836	0,001953									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Fc2 ALFA				0,04619	0,0009766			0,006426	0,0009766	0,0331	0,000977	0,01367	0,0009766	0,0009766
Fc2 BETA	0,04147	0,01367	0,04199		0,00293	0,01367		0,04199	0,0009766	0,005388	0,000977	0,00293	0,0009766	0,04199
Fc2 ALFA 2					0,006836	0,009766	0,009766		0,00293				0,00293	0,004883
Fc2 BETA 2		0,0122	0,00488	0,02441	0,007185									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Fc6 ALFA					0,0009766			0,04199	0,0009766	0,03223	0,000977	0,0161	0,0009766	0,0009766
Fc6 BETA	0,02441	0,009766							0,005388		0,00293		0,01367	0,0009766
Fc6 ALFA 2		0,03223			0,006836	0,02441			0,004883				0,00293	0,001953
Fc6 BETA 2	0,03223	0,01855	0,03714	0,01855	0,001953				0,02441		0,03223		0,02441	0,04199

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
T7 ALFA		0,01367			0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
T7 BETA			0,00098			0,03223	0,02201				0,02441		0,01855	0,001953
T7 ALFA 2					0,006836	0,01855	0,01242		0,005388				0,004883	0,006426
T7 BETA 2	0,03223		0,01367	0,01367	0,009766									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
C3 ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
C3 BETA		0,01242	0,02901		0,00293	0,009766	0,01855		0,0009766	0,01855	0,000977		0,0009766	0,0009766
C3 ALFA 2					0,006836	0,004883	0,006836		0,00293				0,004883	0,004002
C3 BETA 2	0,02441	0,02441	0,00293	0,01367	0,01367									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Cz ALFA						0,0009766			0,009766		0,000977		0,0009766	0,04199
Cz BETA	0,04199				0,006836		0,03778				0,001953		0,01855	0,04147
Cz ALFA 2					0,0009766				0,00293		0,04199		0,0009766	0,0009766
Cz BETA 2	0,009766	0,01827	0,00098	0,01367										

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
C4 ALFA				0,04199	0,0009766			0,006836	0,0009766	0,04199	0,000977	0,01648	0,0009766	0,0009766
C4 BETA	0,04147	0,006836	0,02441		0,01087	0,006836			0,0009766	0,009491	0,000977		0,0009766	0,002945
C4 ALFA 2					0,004883	0,004576	0,02441		0,004883				0,00293	0,00293
C4 BETA 2	0,02441	0,01367	0,00488	0,04199	0,009766									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
T8 ALFA				0,0009766				0,0009766			0,000977	0,03223	0,0009766	0,0009766
T8 BETA														
T8 ALFA 2					0,004883				0,004883				0,004883	0,004883
T8 BETA 2	0,04199				0,00293								0,03223	0,01855

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Cp5 ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
Cp5 BETA		0,009491	0,00293		0,004883	0,02632	0,01855		0,001953		0,002945		0,0009766	0,0009766
Cp5 ALFA 2						0,006836	0,04147		0,001953				0,004883	0,0009766
Cp5 BETA 2		0,03223	0,00684	0,02441	0,01855									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Cp1 ALFA					0,0009766			0,04147	0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
Cp1 BETA		0,02632	0,03778		0,0009766				0,002945	0,03223	0,000977		0,0009766	0,002945
Cp1 ALFA 2	0,02441				0,006836	0,004883	0,04199		0,0009766				0,001953	0,0009766
Cp1 BETA 2	0,02959	0,03223	0,01648		0,01855									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Cp2 ALFA					0,0009766		0,0331	0,02901	0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
Cp2 BETA		0,03223			0,0009766	0,04199			0,0009766	0,01367	0,000977		0,0009766	0,0009766
Cp2 ALFA 2					0,004883	0,0122	0,03223		0,00293				0,001953	0,0009766
Cp2 BETA 2	0,04199	0,03223	0,02068	0,03714	0,01855									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Cp6 ALFA				0,0486	0,0009766			0,01855	0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
CP6 BETA	0,03223	0,006836	0,01855		0,04619				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
Cp6 ALFA 2					0,004883	0,01648	0,04199		0,00293				0,00293	0,002945
Cp6 BETA 2	0,01855	0,01855	0,01367	0,02441	0,009766									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
P7 ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
P7 BETA		0,006836	0,03223		0,001953				0,001953		0,002929		0,00293	0,0009766
P7 ALFA 2					0,004883		0,02441		0,00293				0,004883	0,001953
P7 BETA 2				0,0486										

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
P3 ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
P3 BETA		0,02441	0,04199		0,0009766				0,004576	0,03318	0,000977		0,002945	0,0009766
P3 ALFA 2	0,01827				0,004883	0,01855			0,002945					0,0009766
P3 BETA 2	0,03714	0,03223	0,0161		0,01855									0,0462

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Pz ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
Pz BETA		0,02441	0,03223		0,0009766				0,001953		0,000977		0,0009766	0,002945
Pz ALFA 2	0,01367				0,004883	0,004883	0,03223		0,0009766		0,04199		0,0009766	0,0009766
Pz BETA 2	0,04199		0,02068		0,03223									0,03223

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
P4 ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,002945
P4 BETA		0,01367	0,03778		0,0009766	0,04147			0,0009766	0,02441	0,000977		0,0009766	0,0009766
P4 ALFA 2	0,004883				0,00293	0,004883	0,04199	0,04199	0,001953				0,001953	0,0009766
P4 BETA 2	0,04199	0,03223	0,00977	0,04199	0,01855									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
P8 ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
P8 BETA	0,01855	0,006836	0,01367	0,03223	0,02441				0,0009766		0,004883		0,001953	0,0009766
P8 ALFA 2	0,02441				0,005388	0,01242			0,001953				0,001953	0,001953
P8 BETA 2	0,009766	0,01367	0,00488		0,01367									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Poz ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
Poz BETA		0,0186	0,0186		0,002945				0,004576		0,000977		0,0009766	0,0009766
Poz ALFA 2	0,0098				0,004883	0,03714			0,0009766		0,04199		0,0009766	0,0009766
Poz BETA 2	0,0322		0,0206		0,01367									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
O1 ALFA					0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
O1 BETA			0,03292		0,0009766		0,007185		0,001953		0,000977		0,004545	0,0009766
O1 ALFA 2	0,006863				0,004883	0,01367			0,001953				0,001953	0,001953
O1 BETA 2														

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Oz ALFA	0,033	0,04147			0,0009766				0,0009766		0,000977		0,0009766	0,0009766
Oz BETA		0,009491			0,002945				0,001953		0,000977		0,0009766	0,0009766
Oz ALFA 2	0,0098				0,004883				0,0009766		0,04199		0,0009766	0,002945
Oz BETA 2					0,04199									

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
O2 ALFA					0,0009766				0,001953		0,001953		0,0009766	0,0009766
O2 BETA		0,0109	0,0068	0,0186	0,0009766				0,002945	0,04199	0,001953		0,0009766	0,0009766
O2 ALFA 2					0,0009766			0,03778	0,0009766				0,002945	0,0009766
O2 BETA 2		0,0137			0,0137									