



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Brain hacking: descifrado de patrones visuales a través de Electroencefalografía

Brain hacking: decoding visual patterns through EEG technology

Autor

Juan Miguel Sevilla Blasco

Director

Manuel González Bedia

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2017



(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Juan Miguel Sevilla Blasco,

con nº de DNI 73133315P en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Ingeniería de Tecnologías Industriales, (Título del Trabajo) Título castellano: Brain hacking: descifrado de patrones visuales a través de Electroencefalografía.

Título inglés: Brain hacking: decoding visual patterns through EEG technology.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 18 / 09 / 2017

Fdo: _____

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Manuel González Bedia por pensar en mi para ofrecerme este proyecto, me ha permitido aprender a relacionar la ingeniería y la neurociencia. A todos los profesores que he tenido y me han estimulado a querer seguir siempre aprendiendo y por último a mis amigos y familia por su paciencia y haberme estado aguantando todos estos años.

Título del resumen

RESUMEN

En este proyecto se ha buscado conocer la capacidad que tiene el dispositivo comercial Emotiv Epoc+ a la hora de detectar picos en la actividad encefalográfica debidos a estímulos cognitivos, también conocidos como potenciales evocados cognitivos, utilizando para ello Matlab.

Para ello, se ha realizado una revisión sobre el cerebro humano, analizando las funciones que tienen cada área del cerebro, el tipo de onda que se generan en cada una de ellas y su significado.

Se ha estudiado el funcionamiento de Emotiv Epoc+, así como de sus softwares y como puede ser utilizado Matlab para procesar las señales obtenidas previamente con Emotiv Epoc+.

Para procesar las señales, se ha utilizado la librería de EEGlab, debido a su fácil manejo y a que está creada para procesar señales electroencefalográficas.

Se ha dado una visión general del estado del arte de este tipo de tecnologías y se han explicado las principales aplicaciones en las cuales se están usando este tipo de dispositivos.

Para las pruebas, se ha utilizado el paradigma del ente extraño. Esta prueba consiste en usar dos tipos de estímulos, uno frecuente y otro infrecuente. El estímulo infrecuente provoca la aparición de los potenciales cognitivos.

Para localizar los potenciales evocados cognitivos, se han utilizado clusters y comparación por medio del coeficiente de correlación de Pearson. Para ello se precisa de una librería de plantillas de potenciales evocados que pueda ser usado para la detección de nuevos potenciales evocados.

En este proyecto se han realizado tres tipos de pruebas. Habiéndose realizado un total de 90 sesiones.

Se ha podido concluir que, aun siendo capaces de detectar cierto número de potenciales evocados, su fiabilidad no es total y por tanto, no debe utilizarse este método como prueba concluyente en un juicio.

Índice

1. Introducción y objetivos	1
1.1. Objetivos y alcance del proyecto	1
1.2. Introducción biológica	1
1.3. Electroencefalograma	6
1.4. Herramientas utilizadas	7
2. Estado del arte	11
3. Metodología	13
3.1. Realización de las pruebas	13
3.2. Programa	14
3.3. Funcionamiento del programa	16
3.3.1. Fase 1	16
3.3.2. Fase 2	17
3.3.3. Fase 3	20
3.4. Lectura de resultados	20
4. Resultados	25
5. Conclusiones	29
6. Futuros proyectos	31
7. Bibliografía	33
Lista de Figuras	39
Lista de Tablas	41
Anexos	42
A. Código de Matlab	45
A.1. Menú principal	45

A.2. Leer datos	48
A.3. Normalizado	49
A.4. Definir plantilla de P300	49
A.5. Detectar pico	50
A.6. Clusterizar	50
A.7. Localizar momento	51
A.8. Correlación de Pearson	51
A.9. Comparador	52
B. Manual de uso	55
B.1. Emotiv	55
B.1.1. Dispositivo	55
B.1.2. Software	56
B.2. EEGlab	60
C. Pasos a seguir	65
C.1. Búsqueda de información	65
C.2. Desarrollo de las pruebas	66
C.3. Diseño de un programa de detección de potenciales evocados	68
C.4. Ejemplo	69
C.4.1. Definición de plantillas	69
C.4.2. Localización de potenciales evocados	70

Capítulo 1

Introducción y objetivos

1.1. Objetivos y alcance del proyecto

El objetivo principal de este trabajo es identificar la capacidad de detectar potenciales evocados de carácter cognitivo, y la búsqueda de futuras aplicaciones. Para ello, se necesita tener ciertas habilidades y conocimientos:

- Funcionamiento de las ondas cerebrales, origen de los distintos tipos de ondas y el motivo que las genera.
- Saber como utilizar Emotiv Epoc+
- Ser capaz de detectar por medio de Emotiv Epoc+ y Matlab los potenciales evocados P300

En este proyecto se pretende conocer los distintos tipos de ondas cerebrales, conocer la función de cada área del cerebro e interpretar el significado de las ondas.

Emotiv Epoc+ es un dispositivo capaz de hacer electroencefalogramas. Su adquisición está al alcance de todos, por 799\$. Se puede comprar en la pagina web de Emotiv.

Los potenciales evocados son fluctuaciones del electroencefalograma que son producidas por estímulos sensoriales, motores, o cognitivos.[1][2][3][4]. A partir de este proyecto, se pretende poder desarrollar nuevos programas capaces de detectar potenciales evocados en tiempo real.

1.2. Introducción biológica

El sistema nervioso central de la persona es la estructura biológica compuesta por el encéfalo, el cerebro y la médula espinal. Es el sistema que procesa los estímulos y genera una respuesta acorde a ellos. El cerebro humano constituye el 2 % del peso total del cuerpo y consume 1/6 del gasto cardíaco. No hay diferencias entre sexos.[5][6]

El cerebro humano está constituido por dos hemisferios. Cada uno de los hemisferios tiene unas funciones distintas.[5][6]

Entre otras funciones que desarrollan, el hemisferio izquierdo es el que controla las funciones motoras de la parte derecha del cuerpo y el hemisferio derecho es el hemisferio que controla las funciones motoras de la parte izquierda. El hemisferio izquierdo es capaz de reconocer palabras, frases, etc, etc. Es el hemisferio encargado de procesar la comunicación y la lógica. El hemisferio derecho también procesa información de forma visual y espacial, no verbalmente.[7][5][6]

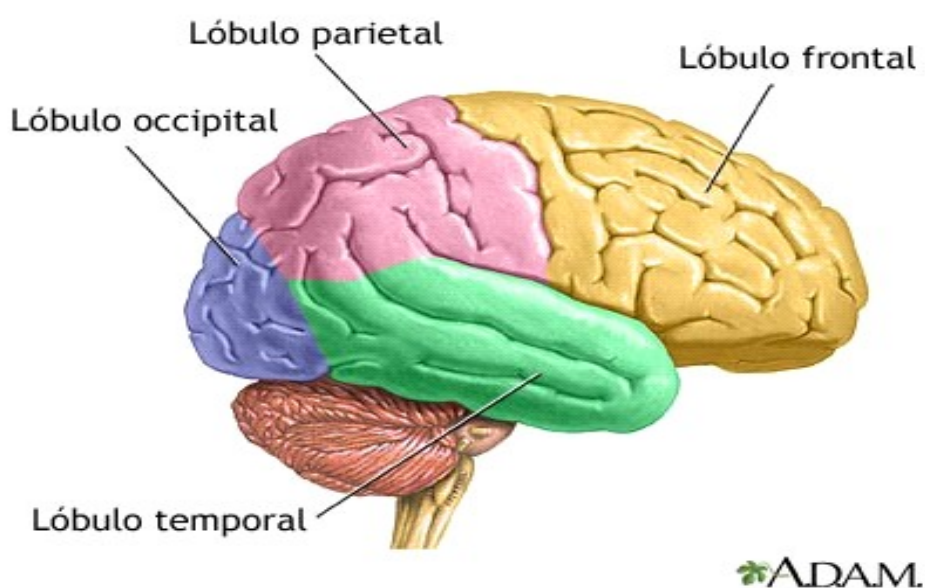


Figura 1.1: Regiones del cerebro[8]

Cada hemisferio se divide en regiones, conocidos como lóbulos, dependiendo de su posición y estas a su vez se dividen en áreas. En estas regiones, Brodmann identificó áreas, según sus funciones. Estas áreas son conocidas como áreas de Brodmann. La figura(1.1) muestra la localización de cada lóbulo.[7][5][6]

- Los lóbulos frontales: Desde el punto de vista funcional, son la parte encargada de la planificación, regulación y control de procesos psicológicos. Son las regiones encargadas de coordinar las diversas opciones de la conducta humana, organiza la conducta, en función de metas, motivaciones, etc, etc.[9][10][6]
- Los lóbulos parietales: Su función principal es el procesamiento y la integración de la información sensorial y visual, relacionada principalmente con el control del movimiento.[11][10][6]
- En la frontera entre los lóbulos parietales y frontales, se encuentra el área encargada del movimiento de las distintas partes del cuerpo y de los sensores que

se encuentran en él. Es el área donde se encuentran los homúnculos.[11][10][6]

- Los lóbulos occipitales: Su función principal es la recepción de los estímulos visuales. Esta área está conectada mediante nervios con los dos ojos. El lóbulo occipital izquierdo con el ojo derecho y viceversa. Parte del lóbulo occipital se encarga de la interpretación de los estímulos visuales.[10][6]
- Los lóbulos temporales: No poseen una función única. Se pueden distinguir cuatro grandes áreas cuyas funciones son, auditiva primaria, auditiva secundaria, reconocimiento de objetos visuales y almacenamiento de información a largo plazo, la memoria.[10][6]

A partir de diferencias de espesor en las capas corticales, el neuroanatomista Korbinian Brodmann, desarrolló un nuevo mapa del cerebro. Cada una de las áreas especializada en una sola función. Como se puede ver en la figura(1.2) que muestra las distintas áreas, con sus principales funciones.

ÁREAS DE BRODMANN

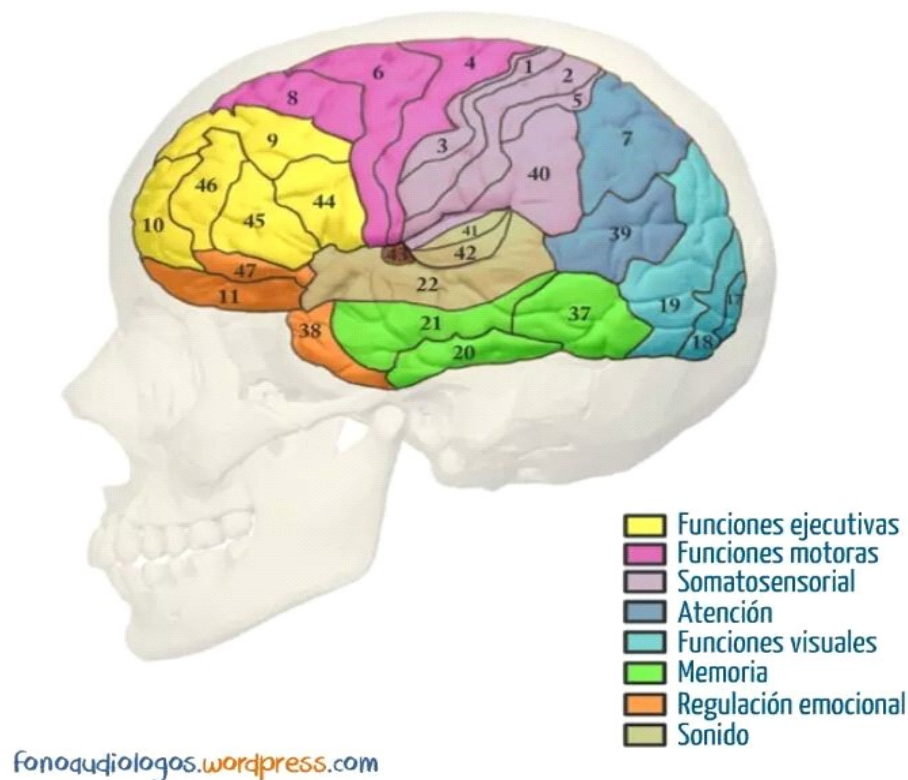


Figura 1.2: Áreas de Brodmann[12]

En los electroencefalogramas es importante localizar correctamente los sensores con respecto a las áreas de Brodmann. La posición del sensor, determina que señal se está

recibiendo.[6]

Función	Lóbulo
Visión: <ul style="list-style-type: none"> • Primaria • Secundaria 	17 18, 19,20, 21, 37
Audición: <ul style="list-style-type: none"> • Primaria • Secundaria 	41 22,42
Somestesia <ul style="list-style-type: none"> • Primaria • Secundaria 	1,2,3 5,7
Sensorial terciaria	7,22,37,39,40
Motora: <ul style="list-style-type: none"> • Primaria • Secundaria • Movimiento de los ojos • Habla 	4 6 8 44
Motora terciaria	9,10,11,45,46,47

Figura 1.3: Funciones de las áreas de Brodmann

Las neuronas son las células principales del sistema nervioso, figura(1.4). Su función principal es responder ante estímulos. La forma que tienen las neuronas de comunicarse entre si, es a través de estímulos nerviosos. Estos estímulos pueden ir dirigidos a otras neuronas a músculos o a glándulas.[13]

Nuestro cerebro está formado por alrededor de 100.000.000.000 neuronas. Pudiendo conectarse cada una de ellas con alrededor de 10.000 neuronas próximas o muy lejanas.[13]



Figura 1.4: Neurona[14]

Las neuronas son capaces de recibir, codificar, y enviarse información entre ellas. Esta comunicación se realiza vía eléctrica. Cada neurona tiene una carga de unos 70 micro-voltios, en reposo. Pero el cerebro está activo en todo momento. Según las conexiones de cada neurona, y del estímulo recibido, el potencial de cada neurona varía. Cada neurona se carga y descarga en función del estímulo recibido. A este hecho se le denomina potencial de acción.[13]

El cerebro genera distintos tipos de ondas, cada una de ellas se caracteriza por un rango de frecuencia y por tener unas características asociadas a ellas. Estas son:

- Ondas Delta, son las ondas cuyo rango de frecuencia está entre 0.1 y 4 Hz. Estas ondas se asocian a la mente inconsciente. Aparecen en momentos de meditación o sueño profundo.[6]
- Ondas Theta, son las ondas cuyo rango de frecuencias está entre 4 y 8 Hz. Estas ondas aparecen durante la meditación y el sueño ligero.[6]
- Ondas Alfa, son las ondas cuyo rango de frecuencia está entre 8 y 14 Hz. Aparecen cuando el individuo se encuentra despierto, pero con poca actividad cerebral y con los ojos cerrados. También aparecen en la zona occipital cuando el sujeto es sometido a flashes de luz a frecuencias no muy altas.[6]
- Ondas Beta, son las ondas cuyo rango de frecuencias se encuentra entre 14 y 30 Hz. Estas ondas aparecen cuando el sujeto se encuentra prestando atención.[6]

La figura(1.5) muestra la forma que tienen dichas ondas.

Hay dos tipos de potenciales evocados a destacar, P300 y N400.

El P300 se caracteriza por ser positivo y de gran amplitud. Cuando se trata de potenciales evocados de carácter cognitivo, aparecen tras ver, oír o entender un hecho que se está buscando, o es discordante con el resto. Por ejemplo, si en una serie de objetos iguales, si aparece otro distinto, el P300 aparecerá. Se origina en la posición Pz del sistema 10-20, este sistema se explica en la sección(1.3) .[1][2][3][4]

El nombre de P300 se debe a que aparece alrededor de 300ms después del estímulo que lo evoca, y a que es una deflexión positiva. [2][3][4][16]

El N400, aparece con una latencia de 400ms, con respecto al estímulo, y es de carga negativa. Este potencial aparece cuando el estímulo que se está viendo, escuchando o leyendo, no tiene sentido. Por ejemplo sería el caso de “Por el mar corren las liebres.”, al considerar el cerebro que la oración es incorrecta, o ilógica, aparece el N400.[1] El ejemplo de oración incoherente ha sido sacada de la canción infantil “Vamos a contar mentiras”.

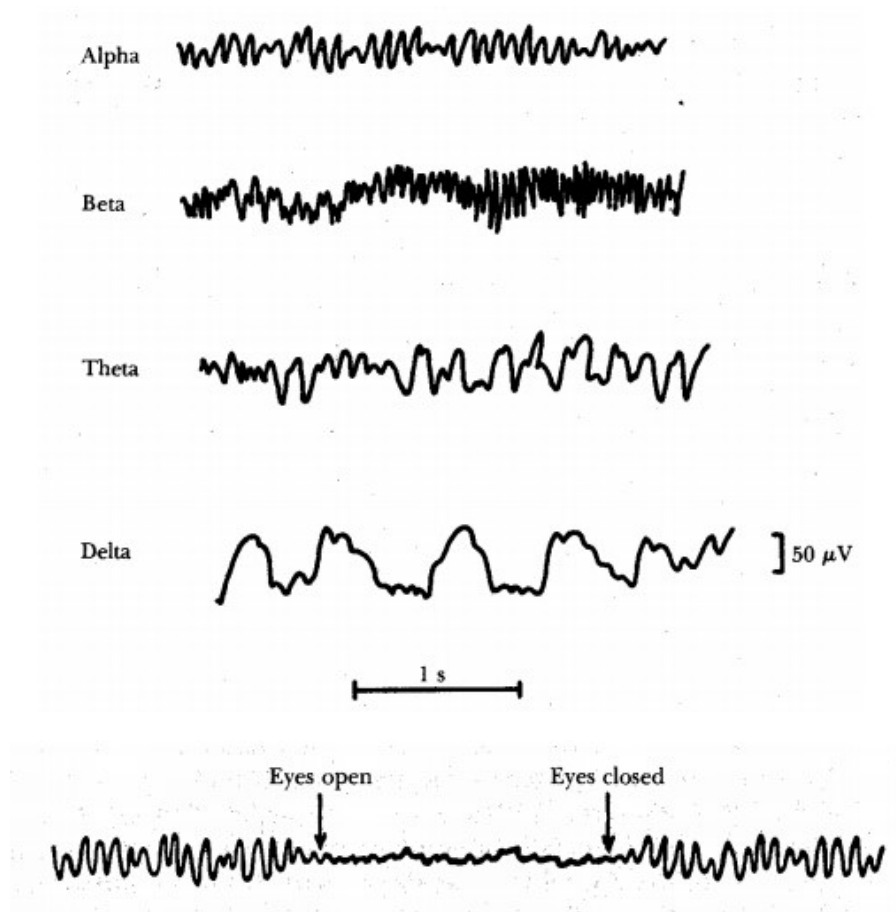


Figura 1.5: Ondas cerebrales[15]

1.3. Electroencefalograma

La electroencefalografía es el registro y evaluación de los potenciales eléctricos, generados en el cerebro. Se obtiene por medios no invasivos, como son los electrodos colocados sobre el cuero cabelludo.[2]

Gracias a la obtención de las señales eléctricas generadas en el cerebro a través de estos electrodos, se puede entender mejor el funcionamiento del mismo.[2]

Los primeros electroencefalogramas realizados en 1920, fueron desarrollados por el doctor Hans Berger. Esta nueva técnica de estudio del cerebro fue un gran avance para la neurociencia y la psiquiatría.[17]

Los electroencefalogramas se utilizan para detectar traumas craneales, tumores, evaluar problemas durante el sueño y otros.[18]

La obtención de resultados anormales en los electroencefalogramas puede ser producido por problemas cerebrales, como traumatismos o edemas. También pueden ser debido a la ingesta de drogas, estimulantes u otro tipo de productos que alteren las capacidades cognitivas del sujeto.[18]

El sistema 10-20 es el sistema internacional que se utiliza a la hora de colocar los

sensores en los electroencefalogramas. Cada posición esta descrita por una letra y un número. Las letras son F, T, C, P y O. Los números pares se corresponden al hemisferio derecho del cerebro y los impares al hemisferio izquierdo.[19]

1.4. Herramientas utilizadas

En el desarrollo de este proyecto, se han utilizado distintas herramientas. Dichas herramientas son:

Emotiv epoc, dispositivo que realiza electroencefalogramas.

Matlab, es el software matemático usado para realizar el proyecto.

EEGlab, es una librería de Matlab para trabajar con señales electroencefalográficas.

EMOTIVXAVIERPURE.EEG, programa de Emotiv especializado en la grabación de electroencefalogramas.

A continuación se explican las herramientas en más detalle:

– Emotiv Epoc+:

Emotiv Epoc+ es un dispositivo de carácter comercial capaz de realizar electroencefalogramas. Cuenta con 14 sensores para ser distribuidos por el cráneo. La localización de los sensores se puede ver en la figura(1.7) y figura(1.8).[20]

Este dispositivo se compone de distintas partes, por un lado, el casco, en el que está toda la electrónica capaz de adquirir, procesar y enviar los datos por medio de bluetooth al ordenador.[21][20] Y por otro lado los sensores, son 16 pequeñas almohadillas con una fina capa de oro en el extremo por donde se conectan al casco. Estas almohadillas deben ser hidratadas con una solución salina para mejorar la conductividad.[20]

Por último, el dispositivo incluye un cargador para el casco. La batería tiene una duración media de unas 12 horas.[20]

En la figura(1.6), se pueden ver los distintos componentes de Emotiv Epoc+.[20]

En la figura(1.7) se muestra la forma correcta de colocación del casco.[20]

En la figura(1.8) se ve la posición de los sensores, con respecto al sistema 10-20.[20]

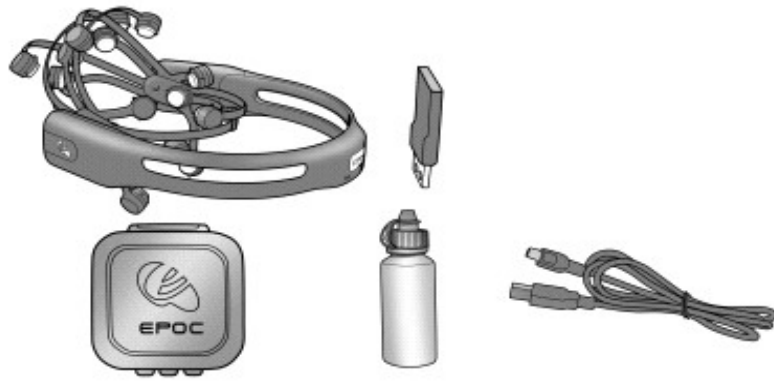


Figura 1.6: Emotiv EPOC+[20]

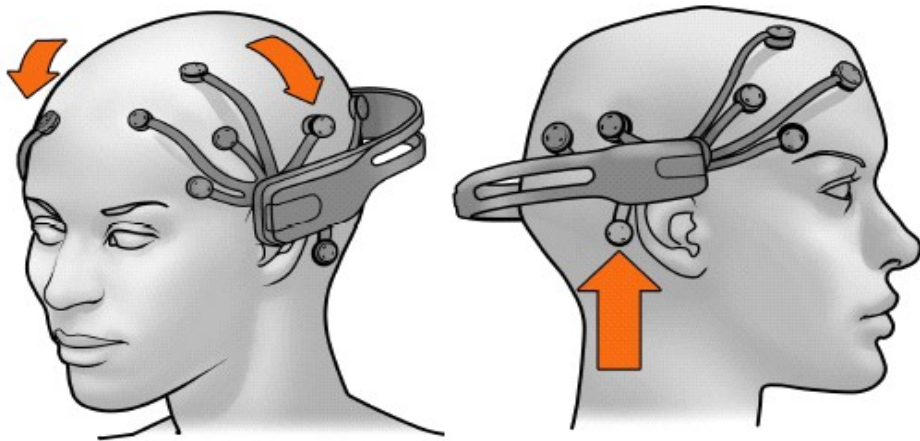


Figura 1.7: Colocación de Emotiv[20]

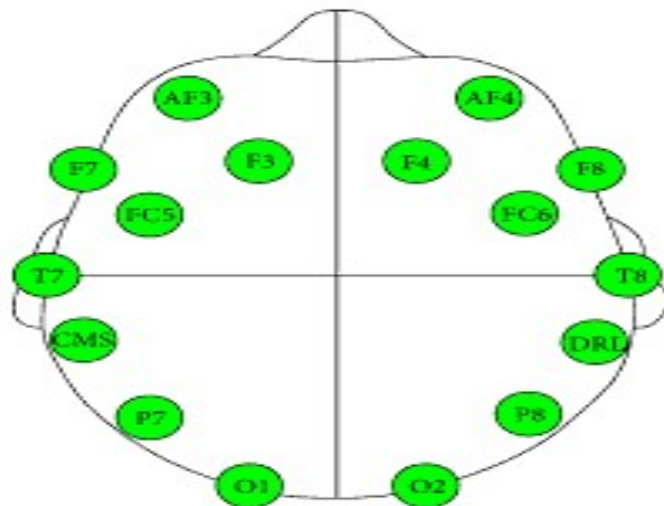


Figura 1.8: Colocación de Emotiv con respecto al sistema 10-20[20]

– Matlab:

Matlab es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado, con

un lenguaje propio. Entre sus funciones se encuentra la manipulación de matrices.[22]

– EEGlab:

EEGlab es una librería de Matlab, distribuida bajo licencia de GNU y GPL y gratuita. EEGlab está preparada para el procesamiento de datos electroencefalográficos, magnetoencefalográficos y electrofisiológicos.

Dentro de EEGlab hay librerías capaces de eliminar fenómenos extraños, como pueden ser para nuestro trabajo el ruido generado por el movimiento muscular, o por el pestañeo.[23] En la figura(1.9) se muestra el menú principal de EEGlab.

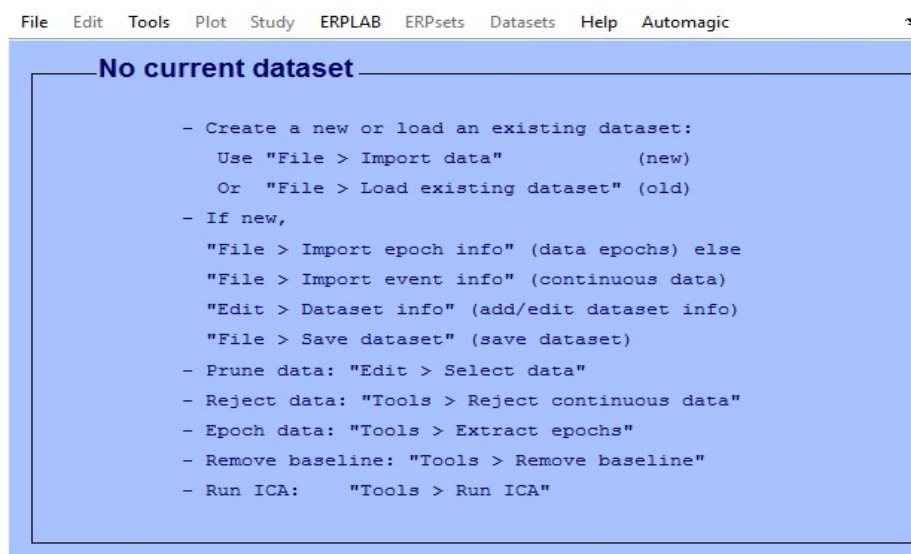


Figura 1.9: Menú principal de EEGlab[23]

– EMOTIVXAVIERPURE.EEG:

EMOTIVXAVIERPURE.EEG es el software de Emotiv para la grabación de las señales electroencefalográficas. En la figura(1.10) se pueden ver las catorce señales correspondientes a las señales obtenidas desde los catorce sensores. En la parte superior a la izquierda, se identifica si los sensores están correctamente colocados, la luz verde significa que el contacto entre el sensor y el cuero cabelludo es correcto, el naranja significa que el sensor hace contacto, pero este es deficiente y el color rojo significa que no hay contacto, o es incorrecto.[20]

Para grabar una prueba, hay que seleccionar la función “Record”, en la parte inferior a la izquierda.

Emotiv vende licencias mensuales para poder utilizar este software. Hay distintos tipos, 50 grabaciones mensuales, 75 mensuales o 100.[20]

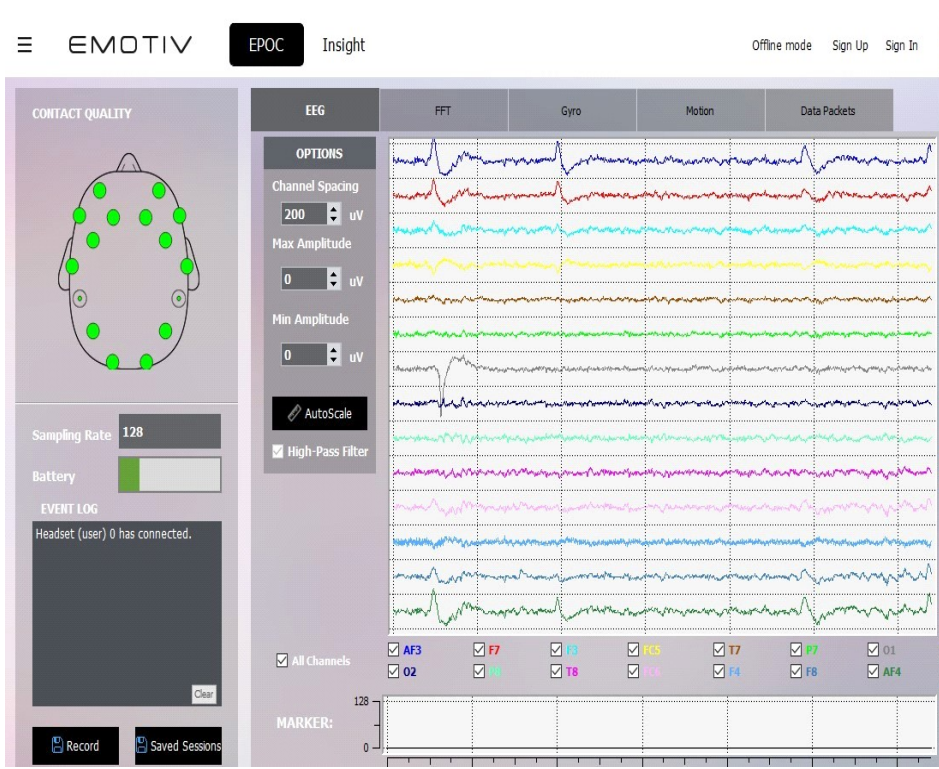


Figura 1.10: PURE.EEG[20]

Capítulo 2

Estado del arte

En los últimos años, con la aparición de electroencefalogramas de uso comercial, como el dispositivo Emotiv Epoc, se han realizado distintas investigaciones sobre el alcance que puede llegar a tener el uso de estos dispositivos en el día a día de las personas.

Un ejemplo de investigación en este ámbito fue el desarrollado por las universidades de Oxford, Génova y la UC Berkeley. Su investigación se realizó con el dispositivo Emotiv Epoc, buscando averiguar la seguridad que tienen los usuarios de este tipo de dispositivos ante posibles intentos de robo de información personal, como puede ser el caso del robo del pin de la tarjeta de crédito.[24]

Los potenciales evocados también han sido foco de interés para su utilización en investigaciones policiales. Estas investigaciones se han basado en los potenciales evocados cognitivos. Con este sistema se pretende poder distinguir entre un dato irrelevante para el individuo, de un dato que sea relevante.[1] [25]

No solo se utilizan los potenciales evocados cognitivos, también es frecuente la utilización de potenciales evocados visuales. Este sistema es más sencillo de utilizar. Los sistemas que aprovechan las respuestas cerebrales ante estímulos visuales, se basan en la sincronización entre estímulos (destellos de luz) a distintas frecuencias y la aparición de picos de gran amplitud a distintas frecuencias de onda. Esta prueba ha sido utilizada para detectar tipos de ceguera. De esta forma es posible detectar si el problema está en los ojos o es un problema de carácter cerebral.[26]

La utilización de señales electroencefalográficas para el uso doméstico se está empezando a desarrollar. Hay proyectos que pretenden mejorar la vida de las personas que sufren discapacidades físicas.

Gracias a estos dispositivos, se puede lograr captar ciertas órdenes desde el cerebro y poder utilizarlos como mandos.

El interés por las ondas cerebrales, y en especial por los potenciales evocados, ha hecho que haya un gran número de proyectos que están relacionados con la obtención

de estas ondas.[27]

El dispositivo Emotiv Epoc, aparte del uso de potenciales evocados, nos ofrece otras posibilidades. Gran parte de las aplicaciones que nos ofrece están dirigidas a potenciar las capacidades del usuario. Es el caso de uno de los softwares que permite mover mentalmente un cubo que se encuentra en el ordenador.[20] Con base en este software, se ha desarrollado un programa capaz de hacer mover un dron a partir de las ordenes emitidas desde el cerebro.[20]

Para lograr un buen funcionamiento de este programa, se necesita un gran entrenamiento. Por ejemplo, en el caso del software para mover un dron, los movimientos han de ser asociados a un tipo de señal. El software no es capaz de detectar el pensamiento derecha, o izquierda.[20]

Una de las aplicaciones más interesantes, dentro de este campo, es la utilización de los potenciales evocados para ayudar a las personas que tienen grandes discapacidades a poder comunicarse.

Otra de las pruebas que se esta desarrollando en estos años consiste en el paradigma del ente extraño. La misma que se esta utilizando en este proyecto.

A partir de este paradigma se esta desarrollando una prueba denominada "Speller". Esta prueba consiste en identificar las palabras que esta pensando un sujeto por medio de la detección de las letras que forman una palabra, una frase, etc. Para detectar las distintas letras, se muestran en pantalla todo el alfabeto, pero de letra en letra, de esta manera se asocia el momento en el que aparece el potencial evocado, con la letra deseada.[28][29][30][31]

En el uso de ondas electroencefalográficas para la mejora de la vida de las personas con discapacidades destaca el uso en sillas de ruedas. Este mecanismo permite a las personas con discapacidades motoras ser capaces de manejar una silla de ruedas por medio de dispositivos como Emotiv Epoc.[32]

Pero se pretende llegar más lejos aun, se están haciendo investigaciones en el campo del "Motor Imagery", que consiste en, por medio de ondas cerebrales, ser capaces de mover extremidades roboticas.[33] Este sería el siguiente paso en el desarrollo de las sillas de ruedas. Con el desarrollo de esta investigación, se podría ayudar a todas aquellas personas que han perdido extremidades, o han quedado paralíticos.

Capítulo 3

Metodología

3.1. Realización de las pruebas

Como ya se ha indicado, el objetivo de este proyecto es identificar como se pueden detectar potenciales evocados desde el cerebro. Hay distintos tipos de pruebas, según la capacidad de los sujetos de mantener la concentración. Para ello se ha usado el paradigma de la rareza (Oddball paradigm).

Este paradigma consiste en la reacción que tiene el cerebro frente a un estímulo extraño. La prueba consiste en someter al sujeto de prueba a un estímulo frecuente y a un estímulo extraño, el estímulo extraño significa, distinto al estímulo frecuente. El estímulo extraño debe aparecer con mucha menos frecuencia que el estímulo frecuente. La frecuencia del estímulo extraño influye en la captación de los potenciales evocados.[1][24][34][2][35][36]

En nuestro proyecto hemos realizado dos pruebas. El primero consiste en identificar colores, donde hemos utilizado como estímulo extraño el color verde, figura(3.1) y como estímulo frecuente el color morado, figura(3.2). La segunda prueba, más compleja, consiste en la selección de una carta de la baraja española, figura(3.3), para localizar en que momento el sujeto reconoce una determinada carta. En esta prueba pueden aparecer factores de duda ante cartas muy parecidas, dando como origen a potenciales evocados en momentos en los cuales no deberían aparecer.[37][16][38][35]

Para que el estímulo extraño, no se convierta en frecuente, se han utilizado formatos del mismo tipo de prueba. Se han utilizado dos vídeos, con imágenes de colores, con distinta distribución.

Debido a la disposición de los sensores del casco de Emotiv Epoc+, no se consigue captar correctamente el potencial evocado cognitivo, que se origina en el parietal central, en la posición Pz, según el sistema 10-20[4]. En nuestro caso, el sensor que mejor capta la señal es el sensor P7. Por ello debemos asegurarnos que este sensor este bien conectado y tenga un buen contacto con el cuero cabelludo, intentando evitar que

aparezcan fenómenos extraños ajenos a la prueba.[24]

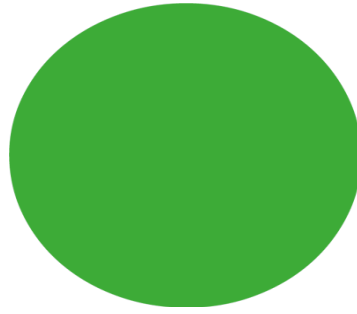


Figura 3.1: Estimulo visual verde[39]

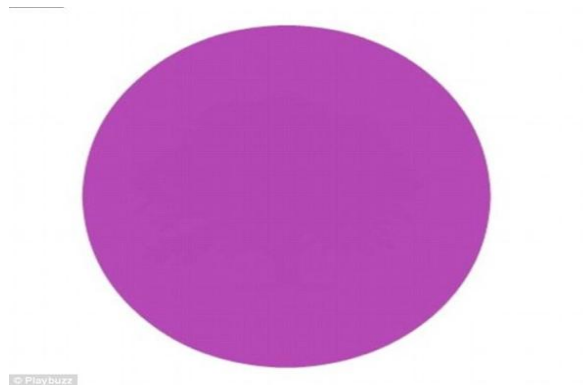


Figura 3.2: Estimulo visual morado[39]



Figura 3.3: As de copas, baraja española[40]

3.2. Programa

El programa que se ha desarrollado para este proyecto analiza y señales electroencefalográficas y por medio de clusters y la comparación de las distintas ondas de la señal con plantillas de potenciales evocados, se obtiene como resultado

los momentos en los cuales han aparecido potenciales evocados, durante la realización de la prueba. En la subsección(3.3.1) se explica que son las plantillas y como se definen.

Dispone de tres fases:

La primera fase sirve para incrementar el número de plantillas de potenciales evocados.

La segunda fase, detecta en que momentos aparecen potenciales evocados por medio de clusters y comparación con plantillas de potenciales evocados previamente definidas.

La tercera fase detecta potenciales evocados y permite extraer y guardar aquellos que se ajustan a las plantillas definidas por el usuario.

En la figura(3.4) se puede ver el menú principal del programa.

```
Elija opcion:  
1-Añadir patrones de potenciales evocados  
2-Buscar potenciales evocados  
3-Buscar y añadir patrones de potenciales evocados  
Cualquier otro numero significa cerrar el programa  
Escriba el numero:
```

Figura 3.4: Menú del programa

– Fase 1:

La fase 1 tiene como función la definición de nuevas plantillas de potenciales evocados. Al comienzo del programa se pide al usuario que introduzca el nombre del archivo en el que se encuentran los datos a procesar y el momento en el que ha habido un estímulo extraño, un evocador.[25][34][37][38] La fase indicara el número de plantillas que se tiene hasta el momento y la plantilla media. En la figura(3.5), se puede ver la forma que tiene la media de los potenciales evocados.

– Fase 2:

La fase 2 es la función principal del programa, esto es la detección de potenciales evocados en una muestra. Para detectar los potenciales evocados se precisan dos archivos realizados con el mismo modelo de prueba.

– Fase 3:

La fase 3 es una combinación de la fase 1 y 2. El objetivo de esta fase es detectar el momento en el cual aparecen potenciales evocados en una muestra y tras ello, ser capaz de extraer y guardar los potenciales evocados que se desee de los archivos utilizados.

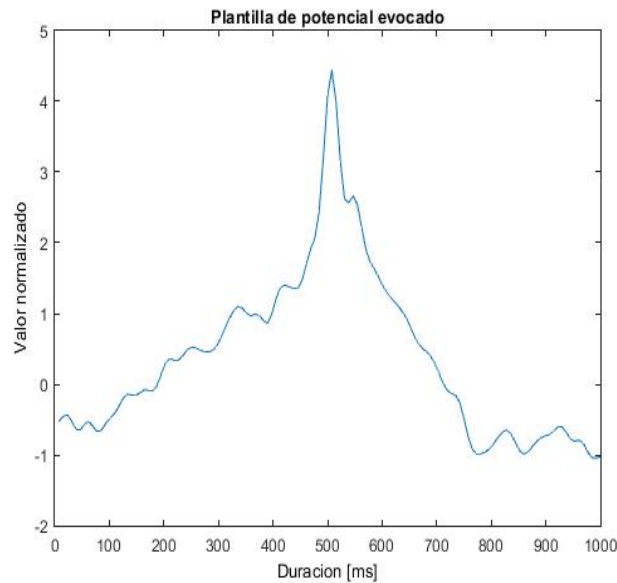


Figura 3.5: Plantilla de potencial

3.3. Funcionamiento del programa

3.3.1. Fase 1

Al comienzo del programa, se solicita al usuario que introduzca el nombre de un archivo y los momentos en los cuales ha habido un evocador.

Los archivos que se analizan en este programa han sido obtenidos utilizando Emotiv Epoc y almacenados en la carpeta "Pruebas". El funcionamiento de este dispositivo se explica en la sección(1.4). Es necesario que los dos archivos hayan sido realizado utilizando la misma prueba.

Los modelos de pruebas con los que se trabaja han sido explicados en la sección(3.1).

Como se señalo en la sección(1.2), las ondas cerebrales tienen un rango de frecuencias entre 0.5-30Hz y debido a que el dispositivo utilizado tiene una frecuencia de muestreo de 128Hz, se debe utilizar un filtro paso alto paso bajo, entre 0.5-30Hz.[21][25][37][34][41][42] El filtrado se realizara utilizando la librería de Matlab EEGlab, en la sección(1.4) se han definido el software Matlab y la librería EEGlab.

La señal ya filtrada, se somete a un tratamiento de análisis de componentes independientes (ICA).[23]

Para homogeneizar todas las muestras realizadas, independientemente del sujeto al que se le ha realizado la prueba, el tipo de prueba o el momento en que se ha realizado, se procede a normalizar la señal. Normalizar la señal consiste en obtener una señal cuya media es 0V y su desviación típica es 1.[34][37][38][42] Para normalizar una señal se calcula la media de los valores de la señal y se le resta esta constante a la señal, de este

modo, obtenemos una señal cuya media es 0. Para obtener una desviación típica de valor 1, se obtiene la desviación de la señal sin haber sido normalizada y se divide entre la desviación típica obtenida. De esta manera se consigue una onda con desviación típica 1.[42]

Los potenciales evocados cognitivos aparecen en la posición Pz del sistema 10-20. Dado que el dispositivo utilizado en este proyecto no posee sensor en la posición Pz citemotiv, como se explica en la sección 1.4. El sensor que mejor capta los potenciales evocados es el sensor P7.[21][24] Por ellos, solo se usará la señal obtenida con el sensor P7 a la hora de obtener las plantillas de los potenciales evocados.

Para aceptar como válida una onda, el programa utiliza una serie de criterios. El primer criterio es localizar los momentos en los que ha habido un evocador. Esta información es introducida por el usuario a comienzo del programa. Para aceptar como válida la onda que hay en ese momento, se procede a detectar el instante de mayor amplitud.[1][24][37]

Debido a las características de los potenciales evocados, la onda P300 aparece con una latencia de 300 ms, se utiliza como unidad de momento el segundo.[1][24][37]

Para aceptar como válida esa onda, esta necesita tener una amplitud mayor a 3. Este criterio se usa basándonos en la distribución gaussiana, la probabilidad de encontrar un valor mayor a tres veces la desviación típica más la media es del 0.03%.[43] Se utiliza este método selectivo debido a la definición de P300, fluctuación positiva con una amplitud mayor al del resto de ondas encefalográficas.[1][24][37] Se describe en más detalle en la sección (1.2).

Habiendo añadido las nuevas plantillas de potenciales evocados se realiza un cálculo de la media de todas ellas y su desviación típica. En la figura (3.5) se muestra la forma de la plantilla media.

El programa muestra en pantalla el número de plantillas definidas hasta el momento. De esta forma se puede comprobar si en la sesión se han añadido nuevas plantillas a la librería.

3.3.2. Fase 2

Al comienzo del programa, se solicita al usuario que introduzca el nombre de dos archivos obtenidos con Emotiv Epoc+ y almacenados en la carpeta "Pruebas". En la sección (1.4) se explica el funcionamiento del dispositivo.

Tras solicitar el nombre de los archivos que se van a analizar, se pide al usuario que introduzca un tiempo de margen entre pruebas. En ocasiones, la sincronización entre dos pruebas no es exacta debida a que se hacen de forma manual, ocasionando pequeñas diferencias de tiempo, por ello se da la posibilidad al usuario de indicarlo.

El usuario debe introducir el coeficiente de correlación de Pearson que se utilizara como limite, a la hora de detectar potenciales evocados. El procedimiento se explicara más adelante. Con esta fase, el usuario es capaz de seleccionar la semejanza entre la señal y las plantillas que se tienen.

El usuario debe introducir el número de clusters a utilizar. Se recomienda el uso de 3 clusters, como aconsejan Micah M. Murray, Denis Brunet y Christoph M. Michel en el artículo [41]. No obstante, puede utilizarse cualquier otro número de clusters.

La lectura de las señales se realizara por medio de Matlab, utilizando la librería EEGlab. En la sección(1.4) se define el software Matlab y la librería EEGlab.

Como se señalo en la sección(1.2), las ondas cerebrales tienen un rango de frecuencias entre 0.5-30 Hz y debido a que el dispositivo utilizado tiene una frecuencia de muestreo de 128 Hz, se debe utilizar un filtro paso alto paso bajo, entre 0.5-30 Hz.[21][25][37][34][41][42] El filtrado se realizara utilizando la librería de Matlab EEGlab.

Las señal se someten a un tratamiento de análisis de componentes independientes (ICA).[23]

Para homogeneizar todas las muestras realizadas, independientemente del sujeto al que se le ha realizado la prueba, el tipo de prueba o el momento en que se ha realizado, se procede a normalizar la señal. Normalizar la señal consiste en obtener una señal cuya media es 0V y su desviación típica es 1.[34][37][38][42] Para normalizar una señal se calcula la media de los valores de la señal y se le resta esta constante a la señal, de este modo, obtenemos una señal cuya media es 0. Para obtener una desviación típica de valor 1, se obtiene la desviación de la señal sin haber sido normalizada y se divide entre la desviación típica obtenida. De esta manera se consigue una onda con desviación típica 1.[42]

En el proceso de detección de potenciales evocados se utilizan clusters, los clusters son definidos en el párrafo siguiente.[25][34][41] Para ello se utiliza la función de Matlab kmeans.[22] Hay distintos modelos de separación por clusters, la función kmeans genera k grupos de una muestra con n datos, el método que utiliza para agruparlos es la media de los datos, agrupando aquellos datos cuya media esta más cercana.[22][44]

El análisis cluster es una técnica dentro de la estadística que tiene como objetivo agrupar conjuntos de datos en grupos, estando en el mismo cluster aquellos datos cuya similitud sea relevante.[45]

Para poder usar clusters, el programa convierte la señal del sensor P7 en una matriz. El método que se utiliza para ello es seleccionar en cada segundo el pico más alto y centrarlo. Cada momento tiene una duración de un segundo. Se obtiene una matriz con 128 filas, debido a que la frecuencia de muestreo del dispositivo utilizado son 128 Hz y

tantas columnas como segundos tiene la duración de la prueba. Se ha utilizado la señal obtenida con el sensor P7, debido a que es el sensor que mejor captura los potenciales evocados. Los potenciales evocados aparecen en la posición Pz con respecto al sistema 10-20.[20][21][24][46]

A la matriz obtenida a partir de la señal del sensor P7 se le añade una nueva columna, esta columna tiene como datos la plantilla obtenida calculando la media entre todas las plantillas definidas hasta ese momento en la fase 1.

En la realización de los clusters se utiliza la ya mencionada función kmeans. Se obtiene como salida de la función un vector con tantas columnas como columnas tenía la matriz anterior y con una única fila.

El primer paso en la localización de potenciales evocados consiste en la detección de aquellos momentos que han sido agrupados en el mismo cluster que la plantilla media de potencial evocado. El programa considera que estos momentos tienen unas características comunes con la plantilla utilizada y que por ello deben tenerse en cuenta. El número de clusters utilizados determina la cantidad de momentos agrupados junto a la plantilla utilizada. El uso de un número grande de clusters puede causar que los parámetros utilizados para realizar los clusters no sean las características de los potenciales evocados.[41][46][47]

Se procede a comparar utilizando la ecuación de Pearson, ecuación(3.1). Se seleccionan los momentos que se encuentran en el mismo cluster que la plantilla de potencial evocado medio. Estos momentos son comparados por medio de la ecuación del coeficiente de correlación de Pearson con las plantillas previamente definidas en la fase 1.[34][25][38][41][48] Un ejemplo de esta comparación se muestra en la figura(3.10).

Para mejorar el funcionamiento y asegurarnos la semejanza con las plantillas de potenciales evocados, se posee una librería de ondas en las cuales no hay potenciales evocados, con la cual también es comparada, seleccionando solo aquellos momentos en los cuales, el coeficiente de correlación entre la onda y la plantilla de potencial evocado es mayor que la correlación entre la onda y la plantilla de estado normal.

$$\text{Coeficiente de Pearson} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.1)$$

Donde σ_{xy} es la covarianza entre x e y, σ_x es la desviación típica de x y σ_y es la desviación típica de y.

El último paso en la detección de potenciales evocados es la comparación del coeficiente de correlación de Pearson con el límite introducido a comienzo del programa. Este límite selecciona solo aquellos valores mayores que ese límite. De este modo, solo se seleccionaran aquellos momentos que se parezcan más a las plantillas ya

definidas.[34][25][38][42]

Todos los pasos definidos hasta el momento se realizan sobre las dos muestras. El último paso consiste en la comparación de los resultados de ambas muestras.

Se realiza una comparación de los dos resultados para eliminar aquellos momentos en los cuales puede haber aparecido un potencial evocado ajeno a la prueba.

Es en este momento cuando se utiliza el tiempo de compensación de la falta de sincronización entre pruebas. El comienzo de la grabación de la prueba se realiza de forma manual, esto produce pequeños errores en el momento en el que comienza la grabación y el momento en el que comienza. Por ello, se ha intentado compensar este error permitiendo al usuario introducir una el margen de tiempo en el cual se encuentra dicho error. Con este paso se pretende afinar más en la obtención de resultados útiles.

3.3.3. Fase 3

La fase 3 es una combinación de las fases 1 y 2. El procedimiento que se sigue en esta fase es el mismo que para la fase 2, se solicita al usuario que introduzca el nombre de dos sesiones realizados con la misma prueba.

La primera parte del programa es idéntica a la fase 2. En la subsección(3.3.2) se describe todo el proceso.

Tras obtener la localización de los momentos en los cuales el programa considera que hay potenciales evocados, se pide al usuario indicar en que momentos se desean guardar como nuevas plantillas, como en la fase 1. En la subsección(3.3.1) se describe todo el proceso.

3.4. Lectura de resultados

Cada parte del programa tiene un tipo de resultado. La fase 1 tiene como resultado la definición de plantillas de potenciales evocados. La estructura se muestra en la figura(3.6).

```
plantillas =  
  
    normal: [1x1 struct]  
    potenciales: [1x1 struct]
```

Figura 3.6: Visualización de la estructura de las plantillas.

Dentro del apartado normal, se encuentran las plantillas de muestras en las cuales no aparecen potenciales evocados. Se muestra en la figura(3.7).

```
>> plantillas.normal

ans =

    muestras: 146
           data: {1x146 cell}
           media: [1x128 single]
```

Figura 3.7: Visualización de la estructura de las plantillas normal.

En la figura(3.8) se muestran las partes de la plantilla de potenciales evocados.

```
>> plantillas.potenciales

ans =

    muestras: 34
           media: [1x128 single]
           desviacion: [1x128 single]
           data: {1x34 cell}
```

Figura 3.8: Visualización de la estructura de las plantillas de potenciales evocados.

Las plantillas se han estructurado de la forma que se ha mostrado, para que puedan ser fácilmente comprensibles.

En la fase potenciales, el resultado que se muestra en pantalla son los momentos en los cuales el programa ha detectado un potencial evocado.

```
Localizacion =

    NombrePrimero: 'Pruebas\Oddball-29.csv'
    NombreSegundo: 'Pruebas\Oddball-28.csv'
    ClustersUsados: 3
    coeficientePearson: 0.7000
           Momento: [36 43 47 50]
           Coeficiente: [0.8284 0.7444 0.7677 0.7345]
```

Figura 3.9: Visualización de la localización

En la figura(3.9) se muestra la forma en que se presenta el resultado. Se muestra el nombre de los archivos seleccionados, al igual que el momento en el cual el programa ha considerado que hay un potencial evocado. Aparece el coeficiente obtenido por medio de la ecuación de Pearson y el coeficiente de Pearson que se ha usado como limite. También se muestran el número de clusters usados.

Para entender mejor el significado del coeficiente de correlación de Pearson, en la figura(3.10) se muestran la comparación entre una onda preseleccionada como potencial evocado con una plantilla de potencial evocado y una plantilla de estado normal. El

valor del coeficiente de Pearson entre la onda preseleccionada y la plantilla de potencial evocado es 0.8289, mientras que el valor del coeficiente de correlación de Pearson entre la onda preseleccionada y la plantilla de estado normal es de 0.1571. Lo cual muestra que la semejanza entre la onda preseleccionada y la plantilla de potencial evocado es mucho mayor que la semejanza con el estado normal.

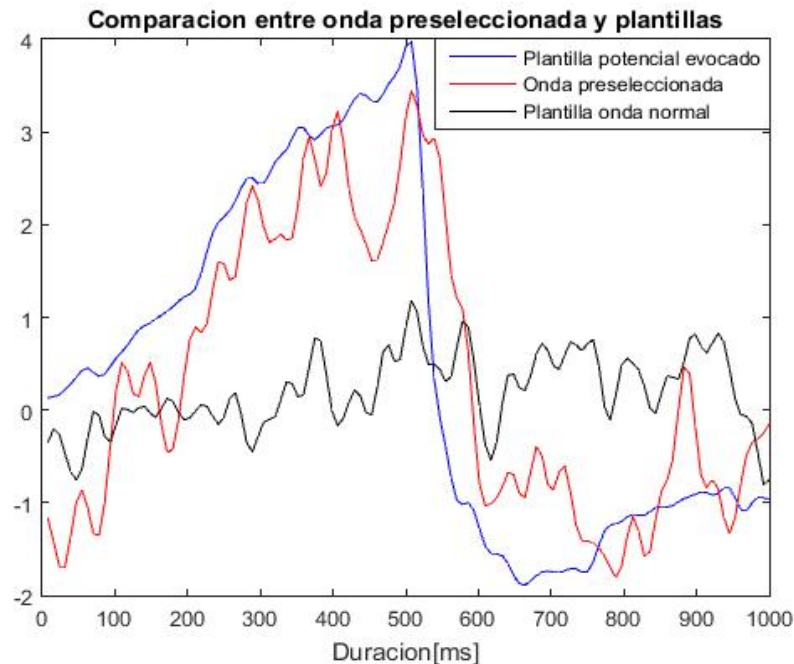


Figura 3.10: Comparación de onda preseleccionada con plantillas.

La comparación entre las muestras que aparecen en la figura(3.10) muestra que los potenciales evocados no son totalmente iguales a la media de las muestras, que aparece en la figura(3.5). Esto se debe a las variaciones dentro de las plantillas que tienen los potenciales evocados. Pero en los distintos casos se pueden ver las características comunes, que son, valores de pico muy grandes y tras el pico, un cierto tiempo en el cual el potencial es negativo. La forma, amplitud y latencia de los potenciales evocados tiene gran cantidad de factores que son capaces de alterarlos. Estos factores son, la edad del sujeto, el hecho de haber tomado cafeína, o cualquier otro de estimulante, o alcohol. También se ha de considerar la dificultad de colocar los sensores siempre en el mismo lugar.

Una de las ventajas de la librería de EEGlab, es la capacidad que tiene de mostrar la distribución de los potenciales en el cerebro. De esta manera se puede ver de forma más sencilla las diferencias que hay entre los distintos sensores en el momento en que aparece el potencial evocado.[23]

La figura(3.11) muestra la distribución de la actividad electroencefalográfica en el momento del potencial evocado. En la imagen se puede ver como la el potencial que

aparece en la posición P7, posiciones en la figura(1.8).[24][21]

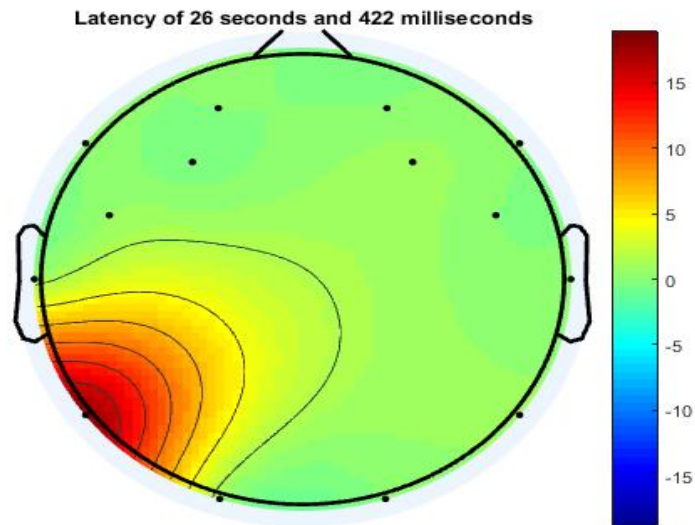


Figura 3.11: Vista de la distribución de potenciales, cuando hay un potencial evocado.

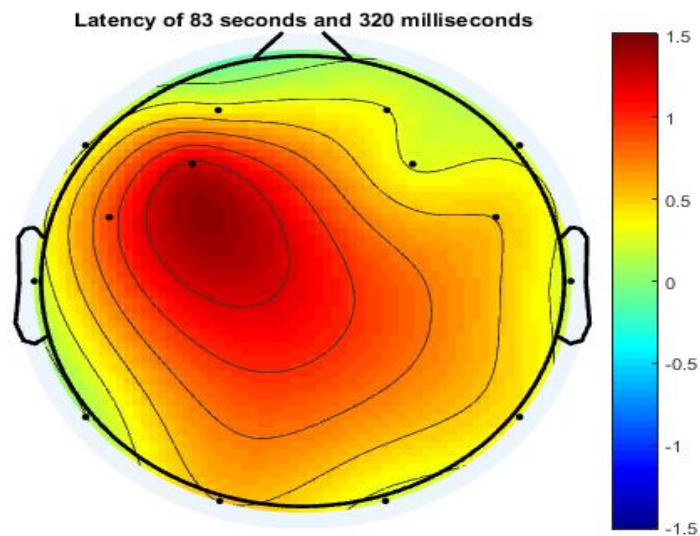


Figura 3.12: Vista de la distribución de potenciales, cuando no hay un potencial evocado.

Por el contrario, en la figura(3.12) se muestra la distribución de la actividad electroencefalográfica cuando no hay un potencial evocado. Se puede ver como la distribución es más homogénea. El valor de la actividad electroencefalográfica se pueden ver en la leyenda de la imagen, al igual que en la figura(3.11).

La diferencia entre las dos imágenes puede ser algo confusa si no se observa la leyenda de cada una de ellas. En la figura(3.11) el color rojo tiene un valor de 15,

mientras que en la figura(3.12), el rojo tiene un valor de 1.5, lo que significa que es diez veces más pequeño. De aquí se puede concluir que cuando aparece un potencial evocado, la mayor parte de la actividad electroencefalográfica es igual, excepto en el sensor P7 y en el caso en el cual no aparece el potencial evocado, la distribución de actividad electroencefalográfica es muy similar en todo el cerebro.

Capítulo 4

Resultados

Como se ha indicado en la sección(1.1), el objetivo principal de este proyecto es detectar potenciales cognitivos. Por ello se hace un estudio sobre la capacidad que tiene el programa desarrollado a la hora de detectar el instante en el cual se ha evocado el potencial.

Durante la prueba pueden aparecer diversos potenciales evocados, pero que al no haber sido evocados por los estímulos de interés se consideraran como errores. Estos errores son debidos a las características del dispositivo que se ha usado en este proyecto y a la falta de conocimiento sobre el comportamiento del cerebro.[24]

Las pruebas que se han realizado exigen cierta concentración por parte del sujeto a quien se le realizan. Este factor es determinante en muchas ocasiones, como es en el caso de las pruebas de los topos de colores. [24]

Por el contrario, en la prueba realizada con cartas, la similitud que hay entre varias de ellas, por ejemplo, el 6 de espadas y el 7 de espadas, puede originar que aparezcan potenciales evocados a lo largo de la prueba, originados por dicha equivocación.[24]

A la hora de obtener los resultados, como se ha visto en la sección(3.4), el programa proporciona los momentos en los cuales considera que ha aparecido un potencial evocado. La falta de homogeneidad en los potenciales evocados hace imposible obtener el resultado exacto a la hora de localizar los instantes en los cuales ha habido un estímulo infrecuente.

Para averiguar si el programa realizado en este proyecto funciona correctamente, los resultados del programa han sido separados en dos grupos. El primer grupo esta formado por aquellos instantes en los cuales el programa detecta un potencial evocado y este coincide con el estímulo evocador o infrecuente, a este grupo lo denominamos potenciales evocados reales. El segundo grupo esta formado por aquellos momentos en los cuales el programa ha detectado un potencial evocado, pero no se corresponde ese instante con el instante en el cual aparece el estímulo infrecuente, a este grupo lo denominamos potenciales evocados falsos. Se ha de hacer una aclaración sobre

los nombres. El nombre de potencial evocado falso no quiere decir que no tenga las características de los potenciales evocados, lo que ocurre es que no han sido evocados por ningún estímulo concerniente a la prueba.

Estos resultados han sido calculados por medio de los estimadores estadísticos, sensibilidad y especificidad. La sensibilidad nos indica la capacidad que tiene nuestro método de detectar un potencial evocado y que este realmente lo sea, la fórmula se muestra en la ecuación(4.1). La especificidad nos indica la capacidad que tiene el método utilizado para considerar como potencial evocado, casos en los que no ha habido un evocador también llamado estímulo infrecuente, falsos potenciales evocados, la fórmula se muestra en la ecuación(4.2). Además de ello, calculamos el número de potenciales evocados detectados y que son auténticos potenciales evocados, sobre el número total de potenciales evocados que deberían haber sido detectados, la fórmula se muestra en la ecuación(4.3).[43]

La detección se define como media de potenciales evocados detectados en una prueba. En la prueba de las cartas, al haber un único evocador, se puede definir como la probabilidad de haber detectado el potencial evocado.

$$Sensibilidad = \frac{VP}{VP + FP} \quad (4.1)$$

$$Especificidad = \frac{FP}{VP + FP} \quad (4.2)$$

$$Deteccion = \frac{VP}{Totales} \quad (4.3)$$

Donde VP es el número de verdaderos potenciales evocados que han sido detectados, FP es el número de falsos potenciales evocados que han sido detectados, aquellos momentos detectados, en los cuales no había un evocador y $Totales$ es el número total de evocadores, estímulos infrecuentes, que han aparecido en la prueba.

En la prueba realizada utilizando la baraja española, en la cual se debía detectar la carta en la cual el sujeto está pensando. Se ha realizado la búsqueda de potenciales evocados con 3 clusters y con 4 clusters, como se muestra en la tabla(4.1), se muestra como no hay diferencias aparentes en los resultados obtenidos. Se puede observar que en ambos casos, tiene una probabilidad de detectar el instante en el que aparece la carta en la que se está pensando de un 50 %, esto significa que un 50 % de las ocasiones detecta el instante en el cual aparece el evocador. También se puede ver como la sensibilidad en ambos casos es de alrededor de un 21 %. Este valor es inferior al 50 %, el cual se utiliza para determinar si una prueba es fiable o no.

En la prueba en la que se han utilizado topes de distinto color se han usado dos modelos, en el primer modelo, denominado "Topos 1", se han utilizado 5 evocadores y

una duración aproximada de la prueba de 3 minutos. El segundo modelo, denominado "Topos 2", se han utilizado 2 evocadores y una duración aproximada de la prueba de 1 minuto. En la tabla(4.1) se puede comprobar como hay una gran semejanza entre los resultados de ambas pruebas.

Por último, en la tabla(4.1) se muestran los resultados totales. Estos resultados se asemejan más a los resultados de las pruebas de los topos debido a que se han realizado en total más sesiones con el modelo de prueba de los topos que con el modelo de prueba de las cartas.

Tipo de prueba	Detección	Sensibilidad	Especificidad
Carta (3 clusters)	50 %	20.5 %	79.5 %
Carta (4 clusters)	50 %	21 %	79 %
Topos 1 y 2	58 %	26.1 %	73.9 %
Topos 1	60 %	26.6 %	73.4 %
Topos 2	54 %	24.56 %	75.44 %
Total	57 %	25.2 %	74.8 %

Tabla 4.1: Tabla de resultados.

Como se puede ver en la tabla(4.1), la prueba de las cartas es la prueba que peor funciona en el programa desarrollado. Una de las explicaciones que puede tener este hecho es la ya mencionada confusión entre cartas, esto provoca potenciales evocados en posiciones en las cuales no deberían aparecer, haciendo que la sensibilidad del método no sea relevante. Por otro lado, está la cuestión de los grupos formados por los clusters. Aunque comparando únicamente los datos obtenidos, no hay diferencias aparentes entre usar 3 o 4 clusters en la prueba de las cartas.

Pero realizando el calculo de Chi cuadrado obtenemos que las pruebas tienen una similitud del 99,9%, indicando así que aun teniendo diferentes sensibilidades, no son significativamente independientes las pruebas entre si.[43]

En la prueba de las cartas, es interesante ver como se puede incrementar la probabilidad de acertar la carta en la que se esta pensando. De esta manera se puede ver de forma más clara una de las utilidades que tiene este programa. Se muestran los incrementos en la probabilidad de acertar en la tabla(4.2).

Se puede ver que utilizando estadística descriptiva, se puede ver como el incremento de la probabilidad de acertar es de más de 8 veces. Como se muestra en la tabla(4.2). Considerando el caso general, todas las sesiones, se consigue un incremento en la probabilidad de encontrar el estímulo infrecuente de hasta 8.97 veces.

Se debe aclarar la tabla(4.2), se define como probabilidad sin programa, a la probabilidad que se tiene de averiguar en que instante ha aparecido el estímulo evocador

Tipo de prueba	Probabilidad sin programa	Probabilidad con programa	Incremento
Carta (3 clusters)	2.5 %	20.5 %	8.18
Carta (4 clusters)	2.5 %	21 %	8.4
Total	2.8 %	25.2 %	8.97

Tabla 4.2: Tabla de resultados 2.

sin usar el programa. En la prueba de las cartas sería la probabilidad que se tiene de averiguar en que carta se está pensando sin utilizar el programa. Se define como probabilidad con programa a la probabilidad media que se tiene de averiguar en que carta se esta pensando tras obtener los resultados. Esta probabilidad es igual a la sensibilidad que aparece en la tabla(4.1). En este parámetro se considera que hay una probabilidad del 50 % de que entre los momentos en los cuales el programa ha detectado la presencia de un potencial evocado y que la media de momentos considerados es de 2.5.

Como resultado final, en el caso de la prueba de las cartas, se tiene que el programa es capaz de reducir la incertidumbre de 40 a 2.5, de media. Habiendo una probabilidad del 50 % de que la carta en la que se ha pensando se encuentre entre las cartas detectadas.

Capítulo 5

Conclusiones

Como se ha podido ver en el capítulo(4), la localización de los potenciales evocados es complicada. Sabemos que con el dispositivo Emotiv Epoc+ se es capaz de detectar potenciales evocados, pero es demasiado sensible a agentes exteriores, como la colocación de los sensores o la cantidad de pelo del sujeto.

Como vimos en el capítulo(2), con esta prueba se esta intentando usar a la hora de detectar culpables de delitos, usándose como el polígrafo. Pero viendo los resultados obtenidos en nuestras pruebas, no se podría considerar como una prueba decisiva.

Uno de los mayores problemas que tiene el dispositivo Emotiv Epoc+ es la localización de sus sensores. La mayor parte de ellos están colocados sobre los lóbulos frontales, pero el motivo de esto no es tanto la captación de las señales electroencefalográficas, como la detección de movimientos faciales. Recordaremos que Emotiv ofrece un programa gratuito, en el cual el dispositivo capta los movimientos faciales, como pestañeo, sonrisa, guiñar los ojos. Estos movimientos, por desgracia, ocasionaban el movimiento del sensor, generando la distorsión de las señales.

Otro de los motivos por los cuales Emotiv Epoc+ es un dispositivo con el cual es complicado captar señales concretas de los electroencefalogramas, es la dificultad de colocar el sensor en la misma posición. Esto produce que el sensor P7 pueda estar más cerca, o más lejos de la posición Pz, que como se vio, es el lugar donde mejor se distinguen los potenciales evocados cognitivos.

El aumento de la librería de potenciales evocados permite que el programa detecte mejor las posiciones en las cuales aparecen potenciales evocados. Y permite que se use un coeficiente de correlación de Pearson mayor, haciendo que estemos más seguros del buen funcionamiento del programa.

La eficiencia en el uso de los clusters depende en gran medida del número de ellos que se usan. En este proyecto se han utilizado 3 clusters, como norma general.

Cuando se intentan medir parámetros que no son objetivos, sino que son parámetros donde interviene el subconsciente, no se obtienen resultados claros o fácilmente

comprobables. En nuestro caso, se puede estar evocando un potencial de forma ajena a la prueba. Esto hace que sea muy fácil de engañar al programa. Mirar hacia otro lado, o pensar en otra cosa, hacen que no aparezcan potenciales evocados cuando deberían aparecer.

En conclusión general, el uso de potenciales evocados para detectar estímulos relevantes para el sujeto aun no es posible con dispositivos comerciales como Emotiv. El desarrollo y mejora de dispositivos comerciales capaces de hacer electroencefalogramas hará que pronto se sea capaz de detectar a la perfección los potenciales evocados. El problema aparecerá cuando el objetivo sea detectar estímulos que dependen de la concentración del sujeto, como en este experimento.

Capítulo 6

Futuros proyectos

A partir de este proyecto, la Universidad de Zaragoza, puede comenzar a dar aplicación a este tipo de dispositivos. Emotiv ofrece la posibilidad de conseguir una licencia con la cual se pueden obtener las señales en tiempo real. En este proyecto se ha trabajado con datos previamente obtenidos.[20] De esta manera se podrá procesar las señales electroencefalográficas en tiempo real, consiguiendo así unas aplicaciones más útiles.

Este tipo de dispositivos pueden ser de gran utilidad para los discapacitados. Ser capaces de mover su silla de rueda sin tener que utilizar las manos, para poder dirigirla, o poder expresar ideas, sería un gran avance.

Si se consideran los potenciales evocados, desde el punto de vista en el que han sido utilizados en este proyecto, el ejemplo de mover una silla de ruedas sería tan sencillo como disponer de una pequeña pantalla en la que se mostraran las distintas direcciones y ser capaces de detectar si el usuario de la silla de ruedas desea ir hacia delante o hacia atrás localizando cuando aparece el potencial evocado y cuando aparece en pantalla la dirección a la que desea ir.

El ejemplo de ser capaces de expresar ideas ya está siendo desarrollado. En el capítulo(2) se ha comentado la prueba llamada "Speller". Esta prueba consiste en ser capaz de deletrear una palabra, pero se puede conseguir transmitir una idea. Por ejemplo, tengo hambre, simplemente evocando un potencial cuando aparece en pantalla un plato de comida.

Como se puede ver, las posibilidades que tiene la utilización de este tipo de dispositivos y la utilización de los potenciales evocados tiene dos variantes, con los mismos fundamentos teóricos. Su utilización en pruebas policiales y su utilización a nivel comercial. Siendo esta última opción la que más posibilidades tiene a la hora de encontrar nuevas aplicaciones.

Como futuras mejoras en este tipo de pruebas, queda el desarrollo de nuevos sistemas con los cuales se pueda discriminar el tipo de onda en función de factores

como la atención. De este modo se podrá mejorar el programa desarrollado y así se obtendrán unos resultados más fiables.

El desarrollo de nuevas librerías de funciones de Matlab capaces de realizar clusters en función de características mas específicas de los potenciales evocados seria un proyecto muy interesante y que podría mejorar mucho la eficiencia del procedimiento de detección de potenciales evocados. Hemos podido ver como los potenciales evocados poseen ciertas características comunes, como pueden ser un pico con amplitud mucho mayor a la media en el centro de la onda, esto es debido a la forma de guardar las ondas del programa. También se aprecia como tras el pico, la onda adquiere valores negativos, este hecho es muy importante a la hora de detectar potenciales evocados, y de distinguir que tipo de potencial evocado es.

Capítulo 7

Bibliografía

- [1] Dr. José-Ramón Valdizán Usón. Potenciales evocados cognitivos en búsqueda de la información oculta. 2016.
- [2] NIZAR ALI KHEMRI. P300 wave detection using a commercial non-invasive eeg sensor: Reliability and performance in control applications. Trabajo fin de grado, Al Fateh University, 2006.
- [3] Saavedra, Carolina, Bougrain, and Laurent. Wavelet denoising for P300 single-trial detection. In Neurocomp, editor, *Proceedings of the 5th french conference on computational neuroscience - Neurocomp'10*, pages 227–231, Lyon, France, October 2010.
- [4] M. Isabel Núñez-Peña, M. José Corral, and Carles Escera. Potenciales evocados cerebrales en el contexto de la investigación psicológica: una actualización. *Anuario de Psicología*, 2004.
- [5] MISULIS HEAD. *Netter. Neurología esencial*. 2008.
- [6] Ralph Jozefowicz David L. Felten MD PhD. *Netter's Atlas of Human Neuroscience, 1e*. Netter Basic Science. Saunders, 1 edition, 2003.
- [7] Xavier; Lafuente José Vicente Sallés, Laia; Gironès. Organización motora del córtex cerebral y el papel del sistema de las neuronas espejo. repercusiones clínicas para la rehabilitación. *Medicina Clínica*, 2015.
- [8] jimcdn. image.jimcdn.com, 2017.
- [9] Julio César Flores Lázaro. Neuropsicología de lóbulos frontales, funciones ejecutivas y conducta humana.
- [10] Gustavo Ramón S. Procesador central: El cerebro. 2008.

- [11] D R . Miguel Ángel Villa Rodríguez. Lóbulos parietales.
- [12] googleusercontent. lh3.googleusercontent.com, 2017.
- [13] OSVALDO D. UCHITEL. El lenguaje de las neuronas. 2006.
- [14] Cerebriti. www.cerebriti.com, 2017.
- [15] slideshare. <https://es.slideshare.net/darkclownsigma/eeg-18460395>, 2017.
- [16] J. VernonTormene Odom and Alma Patrizia. Iscev standard for clinical visual evoked potentials: (2016 update). *Springer-Verlag*, 2016.
- [17] David Saceda Corralo. <http://www.webconsultas.com/pruebas-medicas/electroencefalograma-ee> 2017.
- [18] MedilinePlus. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003931.htm>, 2017.
- [19] Lisa Kleinjohann (auth.) Mike Hinchey Bernd Kleinjohann Lisa Kleinjohann Peter A. Lindsay Franz J. Rammig Jon Timmis Marilyn Wolf (eds.) Marilyn Wolf, Bernd Kleinjohann. *Distributed, Parallel and Biologically Inspired Systems: 7th IFIP TC 10 Working Conference, DIPES 2010 and 3rd IFIP TC 10 International Conference, BICC 2010, Held as Part of WCC 2010, Brisbane, Australia, September 20-23, 2010. Proceedings.*
- [20] Emotiv. <https://www.emotiv.com>, 2017.
- [21] Matthieu Duvinage, Thierry Castermans, and Thierry Dutoit. A p300-based quantitative comparison between the emotiv epoc headset and a medical eeg device.
- [22] MatLab. <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>, 2017.
- [23] EEGlab. <https://sccn.ucsd.edu>, 2017.
- [24] Ivan Martinovic, Doug Davies, Mario Frank, Daniele Perito, Tomas Ros, and Dawn Song. On the feasibility of side-channel attacks with brain-computer interfaces. In *Presented as part of the 21st USENIX Security Symposium (USENIX Security 12)*, pages 143–158, Bellevue, WA, 2012. USENIX.
- [25] Farwell LA and Donchin E. The truth will out: interrogative polygraphy (“lie detection”) with event-related brain potentials. *Cognitive Psychophysiology Laboratory, University of Illinois at Urbana-Champaign.*, 1991.

- [26] ERNESTO OJEDA. Neurofisiología de la diabetes mellitus: Estudio de los potenciales evocados visuales y auditivos en una muestra de niños entre 6 y 16 años. 2011.
- [27] Magee and Riley. A genetic algorithm for p300 feature extraction. Trabajo fin de grado, Royal Military College of Canada, 2015.
- [28] Tae-Hoon Lee; Tae-Eui Kam; Sung-Phil Kim. A hierarchical stimulus presentation paradigm for a p300-based hangul speller. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 21, 2011.
- [29] Dong Ming; Xingwei An; Youyuan Xi; Yong Hu; Baikun Wan; Hongzhi Qi; Longlong Cheng; Zhaojun Xue. Time-locked and phase-locked features of p300 event-related potentials (erps) for brain-computer interface speller. *Biomedical Signal Processing and Control*, 5, 2010.
- [30] Jing Jin; Eric W. Sellers; Xingyu Wang. Targeting an efficient target-to-target interval for p300 speller brain-computer interfaces. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 50, 03 2012.
- [31] A. Cecotti, H.; Graser. Convolutional neural networks for p300 detection with application to brain-computer interfaces. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 33, 2011.
- [32] Yuanqing; Long Jinyi; Yu Tianyou; Gu Zhenghui Wang, Hongtao; Li. An asynchronous wheelchair control by hybrid eeg-eog brain-computer interface. *Cognitive Neurodynamics*, 8, 10 2014.
- [33] Edwin; Suryotrisongko Hatma Fakhruzzaman, Muhammad N.; Riksakomara. Eeg wave identification in human brain with emotiv epoc for motor imagery. *Procedia Computer Science*, 72, 2015.
- [34] Vahid Abootalebi, Mohammad Hassan Moradi, and Mohammad Ali Khalilzadeh. A comparison of methods for erp assessment in a p300-based gkt. *Int J Psychophysiol.*, page 309–320, 2006.
- [35] Vladimir Bostanov; Boris Kotchoubey. The t-cwt: A new erp detection and quantification method based on the continuous wavelet transform and student's t-statistics. *Clinical Neurophysiology*, 117, 2006.
- [36] Elena Labkovsky; J. Peter Rosenfeld. The p300-based, complex trial protocol for concealed information detection resists any number of sequential countermeasures

- against up to five irrelevant stimuli. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 37, 03 2012.
- [37] R. Van Dinteren, Arnsand M., Jongsma, M. L. A., Kessels, and R. P. C. P300 Development across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 9:e87347, February 2014.
- [38] Steven J.Luck. Ten simple rules for designing erp experiments. *University of Iowa*, 2005.
- [39] quia. www.quia.com, 2017.
- [40] esoterismos. www.esoterismos.com, 2017.
- [41] Micah M. Murray, Denis Brunet, and Christoph M. Michel. Topographic erp analyses: A step-by-step tutorial review. *Springer Science Business Media*, 2008.
- [42] Luciano; Bilucaglia Marco; Melloni Simone; Tressoldi Patrizio Giroladini, William; Pederzoli. A new method to detect event-related potentials based on pearson’s correlation. *EURASIP Journal on Bioinformatics and Systems Biology*, 2016, 12 2016.
- [43] Franklin Graybill Alexander and Duane Boes Mood. *Introduccion a la teoria de la Estadistica*. INTRODUCTION TO THE THEORY OF STATISTICS. Aguilar, 1969.
- [44] booktitle = Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics pages = 281–297 publisher = University of California Press title = Some methods for classification and analysis of multivariate observations url = <http://projecteuclid.org:443/euclid.bsmmsp/1200512992> year = 1967 MacQueen, J.”. Berkeley, Calif.
- [45] M Salvador Figueras. Análisis de conglomerados o cluster, 2017.
- [46] Javier J Gonzalez-Rosa; Manuel Vazquez-Marrufo; Encarnacion Vaquero; Pablo Duque; Monica Borges; Carlos M Gomez-Gonzalez; Guillermo Izquierdo. Cluster analysis of behavioural and event-related potentials during a contingent negative variation paradigm in remitting-relapsing and benign forms of multiple sclerosis. *BMC Neurology*, 11, 12 2011.

- [47] J. Peter Rosenfeld; Elena Labkovsky; Michael Winograd; Ming A. Lui; Catherine Vandenboom; Erica Chedid. The complex trial protocol (ctp): A new, countermeasure-resistant, accurate, p300-based method for detection of concealed information. *Psychophysiology*, 45, 2008.
- [48] G. Heinz; M. Rubly; J. Fuhrmeister. A correlation procedure for the single-sweep analysis of event-related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102, 1997.
- [49] Peter-Scott; Ebert Achim; Kerren Andreas Cernea, Daniel; Olech. Measuring subjectivity : Supporting evaluations with the emotiv epoc neuroheadset. *KI - Künstliche Intelligenz*, 26, 05 2012.
- [50] Tomás Rondik and Pavel Mautner. Clustering of gabor atoms describing event-related potentials - solution for ERP detection algorithm based on matching pursuit when ERP waveform is approximated by two or more gabor atoms. In *HEALTHINF 2013 - Proceedings of the International Conference on Health Informatics, Barcelona, Spain, 11-14 February, 2013.*, pages 309–314, 2013.

Lista de Figuras

1.1. Regiones del cerebro[8]	2
1.2. Áreas de Brodmann[12]	3
1.3. Funciones de las áreas de Brodmann	4
1.4. Neurona[14]	4
1.5. Ondas cerebrales[15]	6
1.6. Emotiv Epoc+[20]	8
1.7. Colocación de Emotiv[20]	8
1.8. Colocación de Emotiv con respecto al sistema 10-20[20]	8
1.9. Menú principal de EEGlab[23]	9
1.10. PURE.EEG[20]	10
3.1. Estimulo visual verde[39]	14
3.2. Estimulo visual morado[39]	14
3.3. As de copas, baraja española[40]	14
3.4. Menú del programa	15
3.5. Plantilla de potencial	16
3.6. Visualización de la estructura de las plantillas.	20
3.7. Visualización de la estructura de las plantillas normal.	21
3.8. Visualización de la estructura de las plantillas de potenciales evocados.	21
3.9. Visualización de la localización	21
3.10. Comparación de onda preseleccionada con plantillas.	22
3.11. Vista de la distribución de potenciales, cuando hay un potencial evocado.	23
3.12. Vista de la distribución de potenciales, cuando no hay un potencial evocado.	23
B.1. Pagina web de Emotiv[20]	55
B.2. Componentes Emotiv Epoc+[20]	56
B.3. Colocación de Emotiv[20]	56
B.4. Colocación de Emotiv con respecto al sistema 10-20[20]	57
B.5. Softwares ofrecidos por Emotiv.[20]	57

B.6. Hacerse una nueva cuenta.[20]	58
B.7. Paso 1: adquisición EmotivPro[20]	58
B.8. Paso 2: adquisición EmotivPro[20]	59
B.9. Paso 3: adquisición EmotivPro[20]	59
B.10.Grabar una sesión[20]	59
B.11.Finalizar grabación.[20]	59
B.12.Sesiones grabadas.[20]	60
B.13.Menú principal de EEGlab[23]	61
B.14.EEGlab con archivo.[23]	61
B.15.Ondas mostradas en EEGlab.	62
B.16.Distribución de actividad cerebral.	62
B.17.Estructura de datos leídos por EEGlab.	63
C.1. Áreas de Brodmann[12]	66
C.2. Estimulo visual verde[39]	67
C.3. Estimulo visual morado[39]	67
C.4. Plantilla de potencial	70
C.5. Pasos seguidos	72
C.6. Comparación de onda preseleccionada con plantillas.	72
C.7. Comparación de señales de distintas sesiones.	73

Lista de Tablas

4.1. Tabla de resultados.	27
4.2. Tabla de resultados 2.	28

Anexos

Anexos A

Código de Matlab

A.1. Menú principal

```
% Autor: Juan Miguel Sevilla Blasco
% Funcion: Detectar potenciales evocados P300
% Descripcion: Este programa contiene un menu que da la posibilidad de
%             anadir patrones de ondas de P300 a la libreria, detectar
%             lugares en los que hay potenciales evocados P300, o ambas
%             funciones.
% Preparar programa:
eeglab; %Necesario para que el programa funcione
clear all
close all
% Como escribir el nombre del archivo:
% nombre='Pruebas\Oddball-i.csv'
canal=6; %P7, canal que mejor detecta el P300
filtroAlto=0.5; %Filtro paso alto a 0.5 Hz
filtroBajo=30; %Filtro paso bajo a 30 Hz
grosor=128;
i=1;
while(i==1)
disp('Elija _opcion: ')
disp('1-Anadir _patrones _de _potenciales _evocados ')
disp('2-Buscar _potenciales _evocados ')
disp('3-Buscar _y _anadir _patrones _de _potenciales _evocados ')
disp('Cualquier _otro _numero _significa _cerrar _el _programa ')
opcion=input('Escriba _el _numero: _')
switch opcion
case 1
% Leer nombre del archivo y posiciones del los evocadores
nombreEjemplo=input('Escriba _el _nombre _del _archivo: _')
momentoP300=input('Indique _en _que _momento _hay _evocadores _de _P300: _')
% Leer datos obtenidos con Emotiv:
EEGejemplo=leerDatos(nombreEjemplo, filtroAlto, filtroBajo);
% Leer datos desde el archivo de Emotiv
EEGejemplo=normalizado(EEGejemplo);
```

```

% Sacar valores relevantes sobre el P300:
load('plantillas.mat');
% El archivo plantillas contiene las "formas" de los P300
% obtenidos en las pruebas de testeo
plantillas=obtenerFormaP300(EEGejemplo,momentoP300,canal,plantillas,...

... grosor)
save('plantillas','plantillas');
plantillas.potenciales
continuar=input('volver al menu (1=Si, 0=No): ');
if continuar==1
i=1;
else
i=0;
end
case 2
% Leer nombre del archivo
disp('Para obtener un resultado mas correcto, introduzca el nombre...

... de dos archivos de la misma prueba.')
nombre1=input('Escriba el nombre del primer archivo: ');
nombre2=input('Escriba el nombre del segundo archivo: ');
tiempo=input('Escriba el tiempo en segundos, que se puede considerar...

... como margen: ');
coeficientePearson=input('Escriba el valor del coeficiente...

... de Pearson: ');
numeroClusters=input('Escriba el numero de cluster que se quieren...

... utilizar: ');
% Leer datos obtenidos desde Emotiv y que queremos analizar:
EEG1=leerDatos(nombre1,filtroAlto,filtroBajo);
% Leer datos desde el archivo de Emotiv
EEG2=leerDatos(nombre2,filtroAlto,filtroBajo);
% Leer datos desde el archivo de Emotiv
% Localizar momento en que aparecen P300:
EEG1=normalizado(EEG1);
EEG2=normalizado(EEG2);
load('plantillas.mat');
% El archivo plantillas contiene las "formas" de los P300
% obtenidos en las pruebas de testeo
EEGclusterizado1=clusterizar(EEG1,plantillas,numeroClusters,...

... canal,grosor);
EEGclusterizado2=clusterizar(EEG2,plantillas,numeroClusters,...

... canal,grosor);

```



```

Localizacion1=localizarMomentoP300cluster(EEG1, plantillas ,...
... canal , coeficientePearson , grosor , EEGclusterizado1);
%Localiza los posibles lugares en los que hay un P300
Localizacion2=localizarMomentoP300cluster(EEG2, plantillas ,...
... canal , coeficientePearson , grosor , EEGclusterizado2);
Localizacion=comparador(Localizacion1 , Localizacion2 , tiempo ,...

... numeroClusters , coeficientePearson )
i=0;
case 3
%Leer nombre del archivo y posiciones del los evocadores
nombre1=input( 'Escriba el nombre del primer archivo :_' )
nombre2=input( 'Escriba el nombre del segundo archivo :_' )
tiempo=input( 'Escriba el tiempo en segundos ,...

... que se puede considerar como margen :_' )
coeficientePearson=input( 'Escriba el valor del coeficiente ...

... de Pearson :_' )
numeroClusters=input( 'Escriba el numero de cluster que ...

... se quieren utilizar :_' )
%Leer datos obtenidos desde Emotiv y que queremos analizar:
EEG1=leerDatos(nombre1, filtroAlto , filtroBajo );
%Leer datos desde el archivo de Emotiv
EEG2=leerDatos(nombre2, filtroAlto , filtroBajo );
%Leer datos desde el archivo de Emotiv
EEG1=normalizado(EEG1);
EEG2=normalizado(EEG2);
load( 'plantillas.mat' );
%El archivo plantillas contiene las "formas" de los P300
%obtenidos en las pruebas de testeo
%Localizar momento en que aparecen P300:
EEGclusterizado1=clusterizar(EEG1, plantillas , numeroClusters , canal ,...

... grosor );
EEGclusterizado2=clusterizar(EEG2, plantillas , numeroClusters , canal ,...

... grosor );
Localizacion1=localizarMomentoP300cluster(EEG1, plantillas , canal ,...

... coeficientePearson , grosor , EEGclusterizado1);
%Localiza los posibles lugares en los que hay un P300
Localizacion2=localizarMomentoP300cluster(EEG2, plantillas , canal ,...

... coeficientePearson , grosor , EEGclusterizado2);

```

```

Localizacion=comparador(Localizacion1 ,Localizacion2 ,tiempo ,...
... numeroClusters , coeficientePearson );
Localizacion
i=0;
momentoP300=input( 'Indique en que momento hay evocadores de P300:_' )
% Sacar valores relevantes sobre el P300:
plantillas=obtenerFormaP300(EEG1,momentoP300 , canal , plantillas , grosor );
plantillas=obtenerFormaP300(EEG2,momentoP300 , canal , plantillas , grosor );
save( 'plantillas ' , 'plantillas ' );
plantillas.potenciales
otherwise
i=0;
end
end
close all

```

A.2. Leer datos

```

function [Output]=leerDatos(nombre , filtroAlto , filtroBajo)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Codigo escrito por Hiran Ekanayake
%http://neurofeedback.visaduma.info/EmotivResearch.pdf
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%import data from testbench csv file
tbdata = importdata(nombre);
eegdata = tbdata.data;
%remove unwanted fields
eegdata(:,17:39) = [];
eegdata(:,1:2) = [];
eegdata = eegdata';
%Prepare data in EEGLAB
eeglab
EEG = pop_importdata('data',eegdata,'srate',128);
%import data from MATLAB array
EEG = pop_chanevent(EEG, 15,'edge','leading','edgelen',0);
%event channel
EEG = pop_chanedit(EEG, 'load',{ 'emotiv.ced' ' filetype' 'autodetect' });
%channel locations
EEG = pop_eegfilt(EEG, filtroAlto, 0, [], [0]);
%highpass filtering at 1Hz
EEG = pop_eegfilt(EEG, 0, filtroBajo, [], [0]);
%low pass filtering at 20Hz
eeglab redraw
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Final codigo de Hiran Ekanayake
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
EEG = eeg_checkset( EEG );

```

```

EEG = pop_runica(EEG, 'extended', 1, 'interrupt', 'on');
% [ALLEEG EEG] = eeg_store(ALLEEG, EEG, CURRENTSET);
% eeglab redraw
% data = eeglab2fieldtrip( EEG, 'preprocessing', 'none' );
EEG.setname=nombre;
EEG.filename=nombre;
eeglab redraw
Output=EEG;

```

A.3. Normalizado

```

function [EEGnormalizado]=normalizado(EEG)
tmp = reshape(EEG.data, [size(EEG.data, 1) size(EEG.data, 2)...
... * size(EEG.data, 3) ]);
tmp = zscore(tmp, 0, 2);
tmp = reshape(tmp, size(EEG.data));
EEGnormalizado=EEG;
EEGnormalizado.data = tmp;

```

A.4. Definir plantilla de P300

```

function [matrizForma]=obtenerFormaP300(EEG,momentoP300,...
... canal,matrizForma,grosor)
for i=1:length(momentoP300)
    [piconormalizado, posicion]=detectarPico(EEG,momentoP300(i),...
... grosor, canal);
    if (piconormalizado >=3)
        matrizForma.potenciales.muestras = ...
... matrizForma.potenciales.muestras+1;
        matrizForma.potenciales.data{matrizForma.potenciales.muestras}...
... (1,:) = EEG.data(canal, posicion-grosor/2:posicion+grosor/2-1);
    end
end
sum=zeros(1,128);
for j=1:matrizForma.potenciales.muestras
    sum=matrizForma.potenciales.data{j}(1,:)+sum;
end
matrizForma.potenciales.media=sum/...
... matrizForma.potenciales.muestras;
for t=1:grosor
    for y=1:matrizForma.potenciales.muestras
        vecPot(y)=matrizForma.potenciales.data{y}(1,t);

```

```

        end
        matrizForma.potenciales.desviacion(t)=std(vecPot);
    end
    sum=zeros(1,128);
    for j=1:matrizForma.normal.muestras
        sum=matrizForma.normal.data{j}(1,:)+sum;
    end
    matrizForma.normal.media=sum/matrizForma.normal.muestras;

```

A.5. Detectar pico

```

function [pico, posicion]=detectarPico(EEG,i,grosor,canal);
pico=-1000;
posicion=0;
% if 128*i+1<=length(EEG.times)
    for j=1:grosor
        if pico<EEG.data(canal,128*i+1+j)
            pico=EEG.data(canal,128*i+1+j);
            posicion=128*i+1+j;
        else
            pico=pico;
            posicion=posicion;
        end
    end
% else
%     posicion=length(EEG.times);
%     pico=EEG.data(canal,length(EEG.times));
end

```

A.6. Clusterizar

```

function [EEGclusterizado]=clusterizar(EEG,plantillas,numeroClusters,...
... canal,grosor)
for i=1:fix(EEG.xmax-1)
    [piconormalizado,posicion]=detectarPico(EEG,i,grosor,canal);
    PreCluster.data(:,i)=EEG.data(canal,posicion-grosor/2:posicion+...
... grosor/2-1);
    PreCluster.momento(i)=posicion;
    PreCluster.segundo(i)=fix(posicion/128);
end
PreCluster.data(:,fix(EEG.xmax))=plantillas.potenciales.media;
PreCluster.momento(fix(EEG.xmax))=0;
PreCluster.segundo(fix(EEG.xmax))=0;

EEGclusterizado.data=kmeans(PreCluster.data',numeroClusters);
EEGclusterizado.cluster=EEGclusterizado.data(1);

```

```
EEGclusterizado.momentos=PreCluster.momento;
EEGclusterizado.segundo=PreCluster.segundo;
```

A.7. Localizar momento

```
function [Output]=localizarMomentoP300cluster (EEG,matrizForma , ...
... canal , coeficiente , grosor , EEGclusterizado)
j=0;
Localizacion.Nombre=EEG.filename;
Localizacion.Momento(1)=0;
Localizacion.Coeficiente(1)=0;
for i=1:length(EEGclusterizado.momentos)-1
    if EEGclusterizado.data(i)==EEGclusterizado.data(fix(EEG.xmax))
        j=j+1;
        matriz.data(j,:)=EEG.data(canal , EEGclusterizado.momentos(i) - ...
... grosor/2:EEGclusterizado.momentos(i)+grosor/2-1);
        matriz.momento(j)=EEGclusterizado.momentos(i)/128;
    else
        j=j;
    end
end
factor=correlacionPearson(matriz , matrizForma);
t=1;
for i=1:length(factor.data)
    if factor.data(i)>=coeficiente
        Localizacion.Momento(t)=fix(factor.momento(i));
        Localizacion.Coeficiente(t)=factor.data(i);
        t=t+1;
    else
        t=t;
    end
end
Output=Localizacion;
```

A.8. Correlación de Pearson

```
function [factor]=correlacionPearson(matriz , matrizForma)
for i=1:length(matriz.momento)
    coeficientePotenciales=0;
    coeficienteNormal=0;
    for j=1:matrizForma.potenciales.muestras
        p=cov(matriz.data(i , :), matrizForma.potenciales.data{j}(:))/...
... sqrt(var(matriz.data(i , :))*var(matrizForma.potenciales.data{j}(:)));
        correlacion=p(1,2);
        if correlacion>coeficientePotenciales
```

```

        coeficientePotenciales=correlacion;
    else
        coeficientePotenciales=coeficientePotenciales;
    end
end
for j=1:matrizForma.normal.muestras
    p=cov(matriz.data(i,:),matrizForma.normal.data{j}(:))/...
... sqrt(var(matriz.data(i,:))*var(matrizForma.normal.data{j}(:)));
    correlacion=abs(p(1,2));
    if correlacion>coeficienteNormal
        coeficienteNormal=correlacion;
    else
        coeficienteNormal=coeficienteNormal;
    end
end
if coeficientePotenciales>coeficienteNormal
    factor.data(i)=coeficientePotenciales;
    factor.momento(i)=matriz.momento(i);
end
end
end

```

A.9. Comparador

```

function [Localizacion]=comparador(Localizacion1,Localizacion2,...
... tiempo,numeroClusters,coeficientePearson)
t=0;
Localizacion.NombrePrimero=Localizacion1.Nombre;
Localizacion.NombreSegundo=Localizacion2.Nombre;
Localizacion.ClustersUsados=numeroClusters;
Localizacion.coeficientePearson=coeficientePearson;
for i=1:length(Localizacion1.Momento)
    j=1;
    v=1;
    while (j<=length(Localizacion2.Momento))&(v==1)
        if (Localizacion1.Momento(i)-tiempo<=Localizacion2.Momento(j))...
...&(Localizacion1.Momento(i)+tiempo>=Localizacion2.Momento(j))
            t=t+1;
            Localizacion.Momento(t)=Localizacion1.Momento(i);
            Localizacion.Coficiente(t)=Localizacion1.Coficiente(i);
            v=0;
            j=j+1;
        else
            v=1;
            j=j+1;
        end
    end
end

```

end
end

Anexos B

Manual de uso

B.1. Emotiv

Toda la informacion ha sido sacada de Emotiv.[20]

B.1.1. Dispositivo

Emotiv Epoc+ es un dispositivo capaz de realizar electroencefalogramas, distribuido por la compañía Emotiv, <https://www.emotiv.com/>. En la figura(B.1) se muestra la portada de la pagina web de Emotiv.

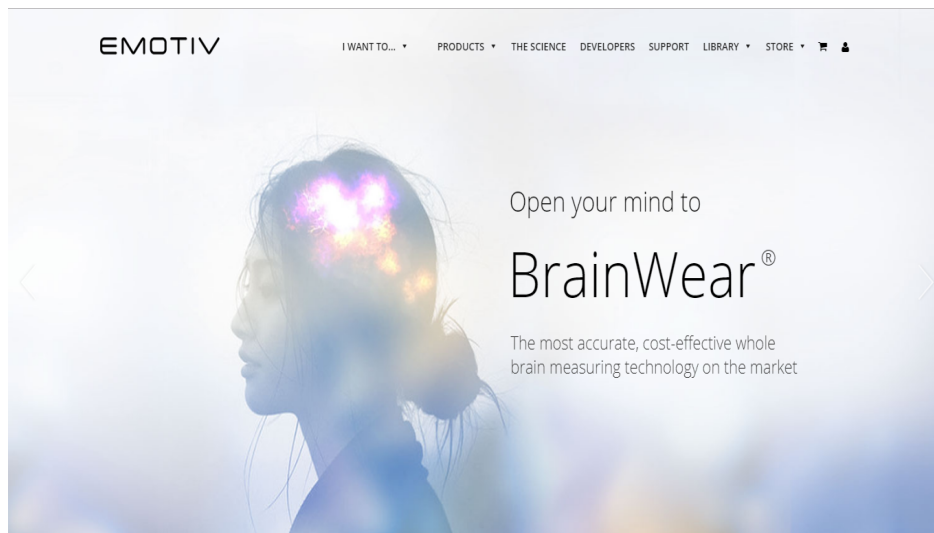


Figura B.1: Pagina web de Emotiv[20]

Emotiv ofrece dos modelos de dispositivos, EMOTIV Insight con un precio de 299\$ y Emotiv Epoc+ con un precio de 799\$. La diferencia se encuentra en el número de sensores que tiene cada uno de los dispositivos, Emotiv Insight tiene 5 sensores, mientras que Emotiv Epoc+ posee 14 sensores.

Ambos dispositivos incluyen un liquido utilizado para hidratar los sensores, aparte de ello viene incluido un cargador. La batería del dispositivo dura alrededor de 12

horas. La comunicación entre el casco y el ordenador se hace por medio de bluetooth, por medio de un usb que viene incluido con el dispositivo. En la figura(B.2) se muestran los diferentes componentes del dispositivo Emotiv Epoc+. La frecuencia de muestreo de Emotiv Epoc+ es de 128 Hz, esto permite que sea capaz de detectar todo el rango de frecuencias de las ondas cerebrales, 0.1-30 Hz aproximadamente.

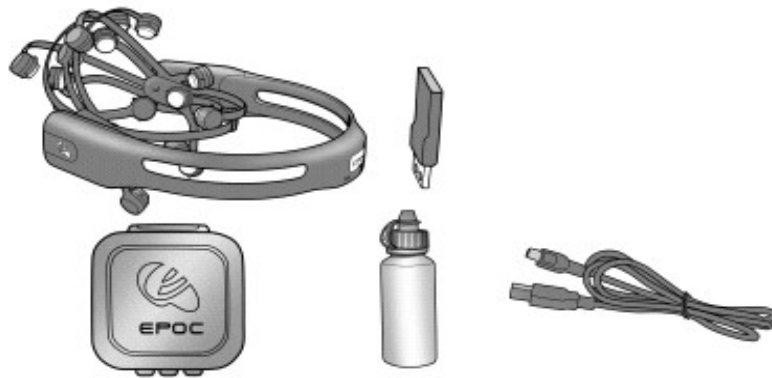


Figura B.2: Componentes Emotiv Epoc+[20]

La posición de los sensores con respecto al sistema 10-20 se muestran en la figura(B.4) y la colocación en el cráneo se muestra en la figura(B.3).

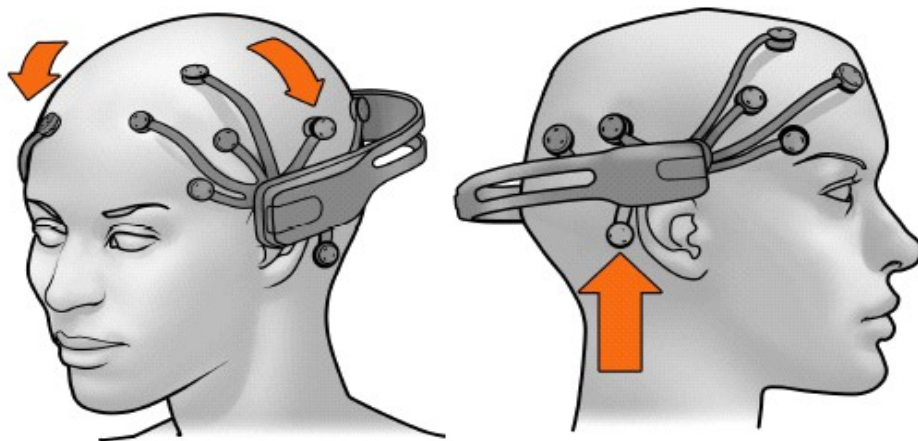


Figura B.3: Colocación de Emotiv[20]

B.1.2. Software

Emotiv ofrece una gran variedad de softwares que pueden ser usados junto a sus dispositivos. Muchos de los softwares que ofrece Emotiv son actualizados o sustituidos por nuevas versiones. En la figura(B.5) se muestran los softwares que ofrece actualmente Emotiv.

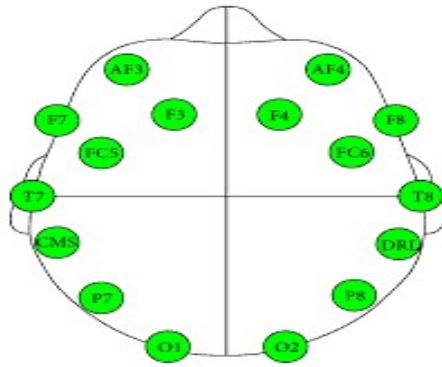


Figura B.4: Colocación de Emotiv con respecto al sistema 10-20[20]

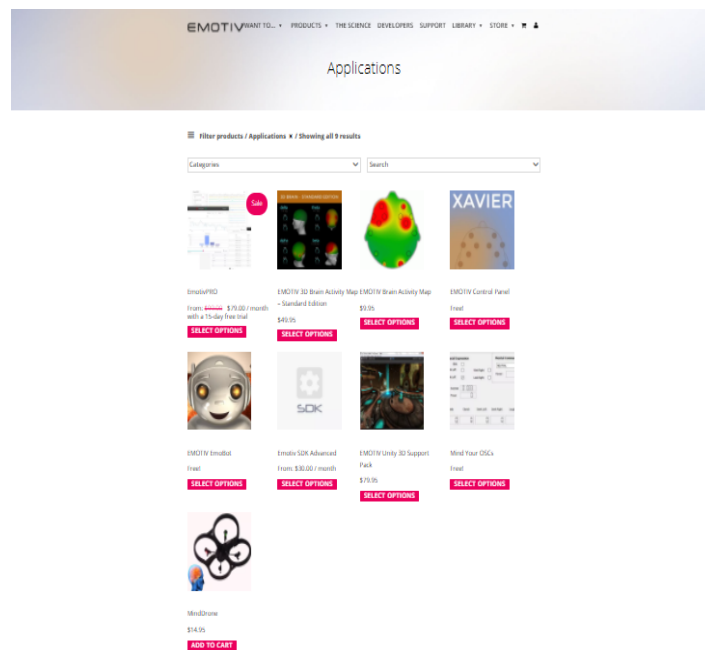


Figura B.5: Softwares ofrecidos por Emotiv.[20]

Para poder adquirir los distintos softwares que ofrece Emotiv es necesario hacerse una cuenta de usuario en su pagina web. La figura(B.6) muestra el lugar donde se encuentra la opción de hacerse una nueva cuenta de usuario.

Para adquirir uno de los softwares que proporciona Emotiv, se debe seleccionar la opción "Store", al apartado "Applications" en la pagina web de Emotiv, <https://goo.gl/TNPCPp>. Se debe seleccionar el producto que se desea comprar. En este manual se pondrá como ejemplo la adquisición del software EmotivPro.

En la figura(B.7) se muestra la pantalla que aparece al seleccionar el software EmotivPro. Para poder adquirirlo se debe seleccionar "ADD TO CART".

Cuando ya se ha seleccionado "ADD TO CART" se debe seleccionar el símbolo del carro de la compra, arriba a la derecha, ahí aparecerán los productos que se desean

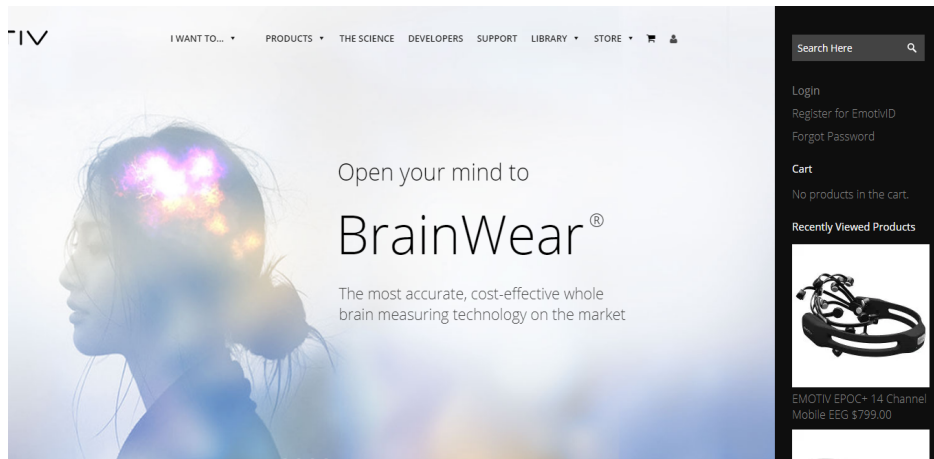


Figura B.6: Hacerse una nueva cuenta.[20]

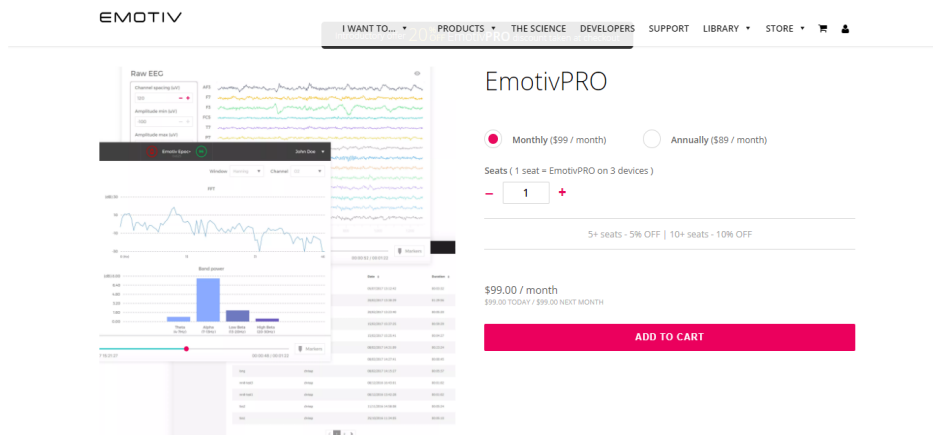


Figura B.7: Paso 1: adquisición EmotivPro[20]

compra. En la figura(B.8) se muestra la pantalla que aparece al seleccionar el carro de la compra. Para comprarlo se debe seleccionar la opción "PROCEED TO CHECKOUT", esta opción nos llevara a la pantalla que se muestra en la figura(B.9), donde se deben introducir los datos del usuario. La compra se hace por medio de tarjeta de crédito o débito.

El software utilizado en este proyecto se llama PURE.EEG, pero ha sido actualizado al software EmotivPRO, el cual tiene las mismas bases de funcionamiento pero con la capacidad de insertar los instantes en los cuales se han introducido los estímulos, <https://www.emotiv.com/emotivpro/> es la pagina web del software EmotivPRO. El precio de este software es 99\$/mes. El manual de usuario se puede descargar desde <https://goo.gl/JuZFS6> .

El proceso para la adquisición se debe ir a la opción "Store", al apartado "Applications" en la pagina web de Emotiv, <https://goo.gl/H63Ht7> .

Para comenzar una grabación, se debe seleccionar el circulo rojo, como se muestra

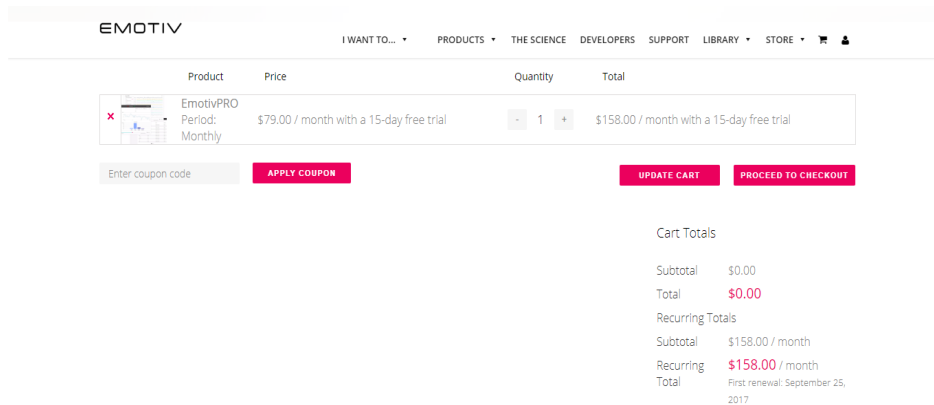


Figura B.8: Paso 2: adquisición EmotivPro[20]

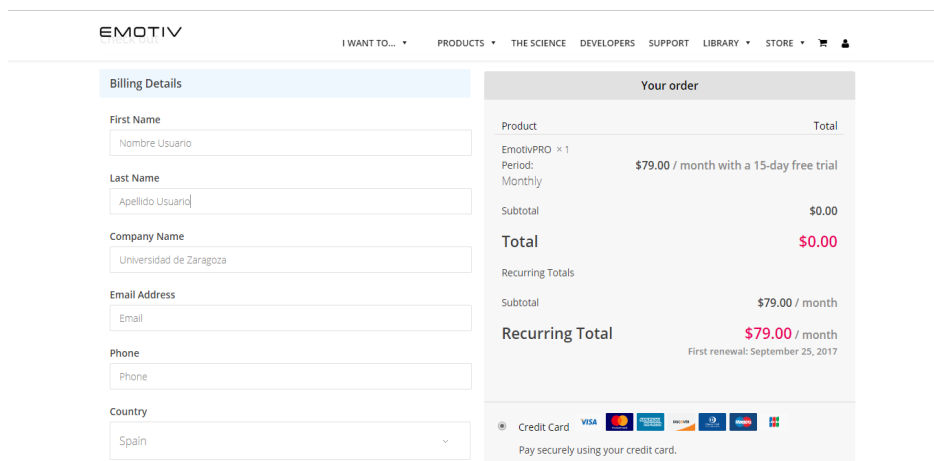


Figura B.9: Paso 3: adquisición EmotivPro[20]

en la figura(B.10). La figura(B.11) muestra el tiempo grabado. Para parar la grabación se debe seleccionar el cuadrado gris.



Figura B.10: Grabar una sesión[20]

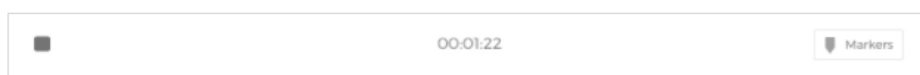


Figura B.11: Finalizar grabación.[20]

En la figura(B.12) se muestran las sesiones que han sido grabadas por el usuario. Se pueden descargar desde Internet, para poder trabajar con ellas desde distintos ordenadores.

Emotiv ofrece también un programa con el cual se es capaz de adquirir la señal en tiempo real. Este software se llama SDK <https://goo.gl/7odvfq>.

Name	SubjectID	Date	Duration	Note
EmotivPRO Test	jpeterson	05/15/16	00:05:20	Cras finibus metus in ligula interdum...
Watching tv	test subject	12/11/16	00:05:22	Cras finibus metus in ligula interdum...
Yoga	test subject	22/11/16	00:08:16	Cras finibus metus in ligula lorem...
Emotiv	test subject	22/11/16	00:08:16	Cras finibus metus in ligula lorem...
Work Meeting	test subject 22	22/11/16	00:08:16	Cras finibus metus in ligula lorem...
Browsing	test subject 33	22/11/16	00:08:16	Cras finibus metus in ligula lorem...
Work Meeting	test subject 44	22/11/16	00:08:16	Cras finibus metus in ligula consecte...
Work Meeting	test subject 44	22/11/16	00:08:16	Cras finibus metus in ligula consecte...

Figura B.12: Sesiones grabadas.[20]

B.2. EEGlab

Toda la informacion ha sido sacada de EEGlab.[23]

EEGlab es una librería gratuita de Matlab bajo licencia de GNU. En el link <https://scn.ucsd.edu/eeglab/index.php> se puede encontrar el enlace para descargar EEGlab y el tutorial para usar esta librería. En el enlace <http://neurofeedback.visaduma.info/EmotivResearch.pdf> se indican los comandos que se deben introducir en Matlab para que el archivo sea leído e interpretado por EEGlab. El archivo que lee es .csv. En el link <https://goo.gl/ykAi3Y> se puede encontrar el archivo llamado emotiv.ced, el cual sirve para indicar a EEGlab la disposición de los sensores de Emotiv EPOC+. En la figura(B.13) se muestra el menú principal de EEGlab.

EEGlab posee la característica de poder descargar nuevas librerías desde la propia pantalla de EEGlab, mostrada en la figura(B.13), estas librerías están destinadas a distintas funciones, procesamiento de señales, eliminación de artefactos, detección de ondas, funciones específicas para realizar gráficas de las señales, etc, etc.

En la figura(B.14) se muestra como se ve EEGlab cuando se lee un archivo. En EEGlab se muestran los datos principales del archivo.

Para obtener la gráfica de las señales se debe seleccionar la opción "Plot" y entre las opciones que se ofrecen, seleccionar la opción "Channel data(Scroll)", esta opción muestra en pantalla las señales obtenidas de los 14 sensores. La figura(B.15) muestra la señal de cada uno de los sensores. Si lo que se desea es ver la distribución de la actividad cerebral en un instante dado, se debe "clickar" con el botón derecho del ratón sobre la señal en el instante deseado, es necesario haber realizado el análisis

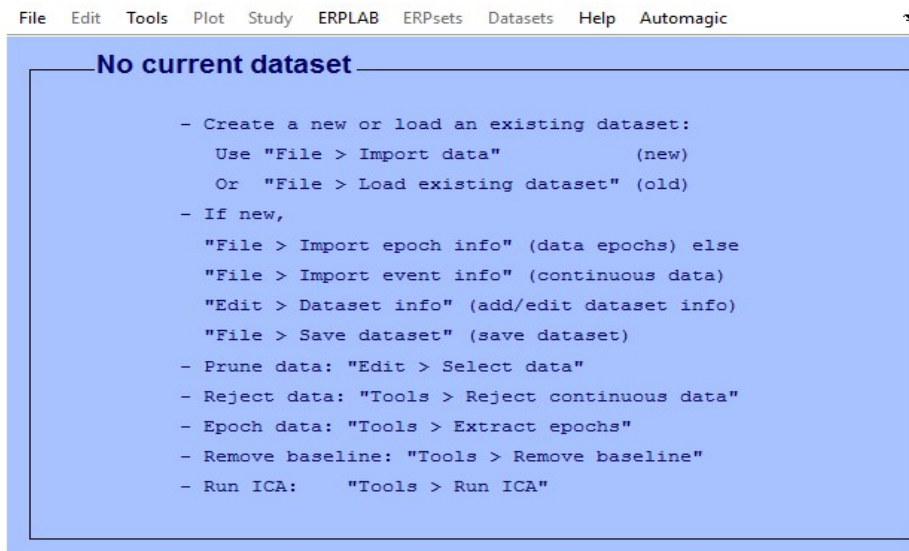


Figura B.13: Menú principal de EEGLab[23]

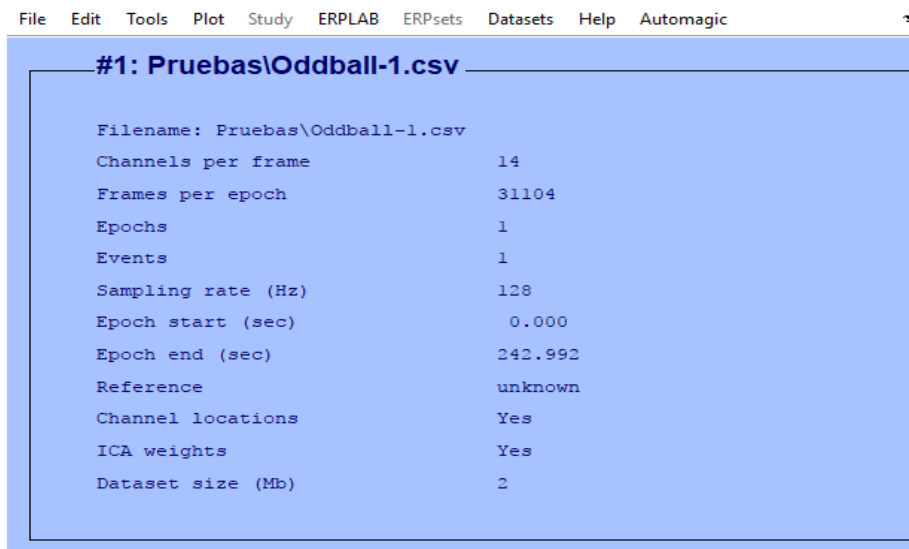


Figura B.14: EEGLab con archivo.[23]

de componentes independientes (ICA) antes de realizar este procedimiento. En la figura(B.16) se muestra la distribución de la actividad cerebral en el momento indicado.

La estructura de los datos leídos por EEGLab se muestra en la figura(B.17).

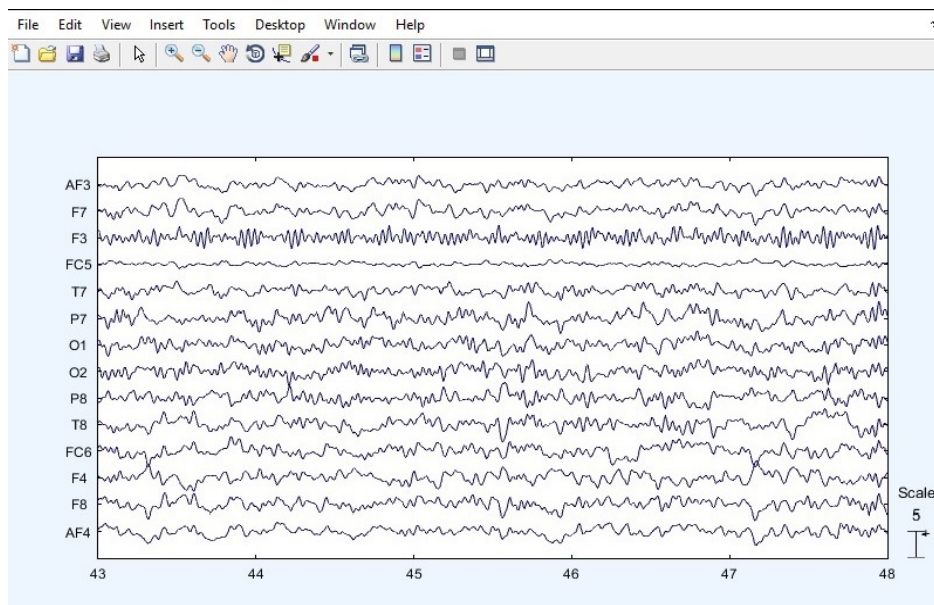


Figura B.15: Ondas mostradas en EEGLab.

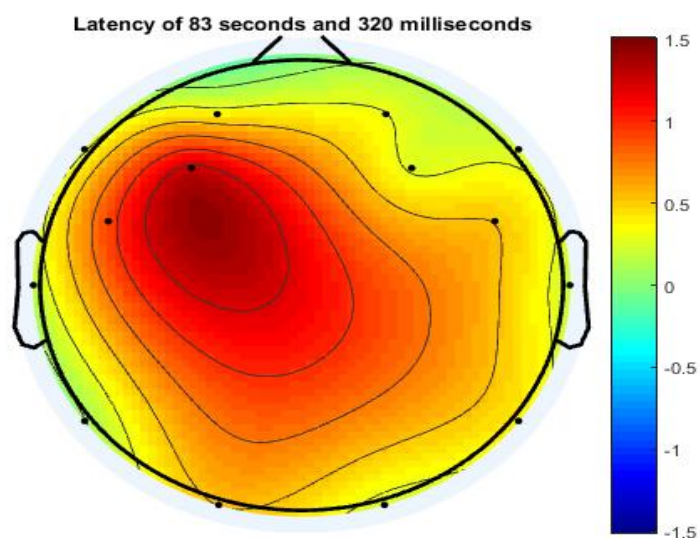


Figura B.16: Distribución de actividad cerebral.


```

EEG =
    setname: 'Pruebas\Oddball-1.csv'
    filename: 'Pruebas\Oddball-1.csv'
    filepath: ''
    subject: ''
    group: ''
    condition: ''
    session: []
    comments: ''
    nbchan: 14
    trials: 1
    pnts: 31104
    srate: 128
    xmin: 0
    xmax: 242.9922
    times: [1x31104 double]
    data: [14x31104 single]
    icaact: []
    icawinv: [14x14 double]
    icasphere: [14x14 double]
    icaweights: [14x14 double]
    icachansind: [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14]
    chanlocs: [1x14 struct]
    urchanlocs: []
    chaninfo: [1x1 struct]
    ref: 'common'
    event: [1x1 struct]
    urevent: [1x1 struct]
    eventdescription: {'' '' ''}
    epoch: []
    epochdescription: {}
    reject: [1x1 struct]
    stats: [1x1 struct]
    specdata: []
    specicaact: []
    splinefile: ''
    icasplinefile: ''
    dipfit: []
    history: ''
    EEG.etc.eeglabvers = '14.1.1'; % this tracks which version of
    EEGLAB is being used, you may ignore it
    E...'
    saved: 'no'
    etc: [1x1 struct]

```

Figura B.17: Estructura de datos leídos por EEGLab.

Anexos C

Pasos a seguir

En este apartado se va a explicar el procedimiento seguido para el desarrollo de este proyecto. Se explicaran los pasos seguidos durante el proyecto, la explicación del uso de las distintas pruebas y el procedimiento seguido para detectar los potenciales evocados.

C.1. Búsqueda de información

El primer paso para desarrollar un proyecto de este tipo es saber el tipo de función cerebral que se quiere utilizar durante el proyecto, en este proyecto se han usado los potenciales evocados generados en el área de la atención. Las funciones de cada área del cerebro fueron definidas por el Dr. Brodmann.[6]

Conociendo el área del cerebro donde se encuentran las neuronas encargadas de ejecutar la función cerebral, que se quiere utilizar en el proyecto, se debe localizar la posición con respecto al sistema 10-20 en la cual se encuentra. El sistema 10-20 es el sistema internacional utilizado para definir la posición de los sensores en los electroencefalogramas.[6]

En este proyecto se han explotado los potenciales evocados cognitivos, estos potenciales evocados son originados en la posición Pz con respecto al sistema 10-20, hay varios estudios, mencionados a lo largo de la memoria, en los cuales se explica que el sensor de Emotiv Epoc+ que mejor capta este tipo de potenciales es el sensor P7.[21][24] En la figura(B.4) se muestran los distintos sensores del dispositivo Emotiv Epoc+.[6]

El sensor P7 esta entre las áreas de Brodmann, como se muestra en la figura(C.1).

ÁREAS DE BRODMANN

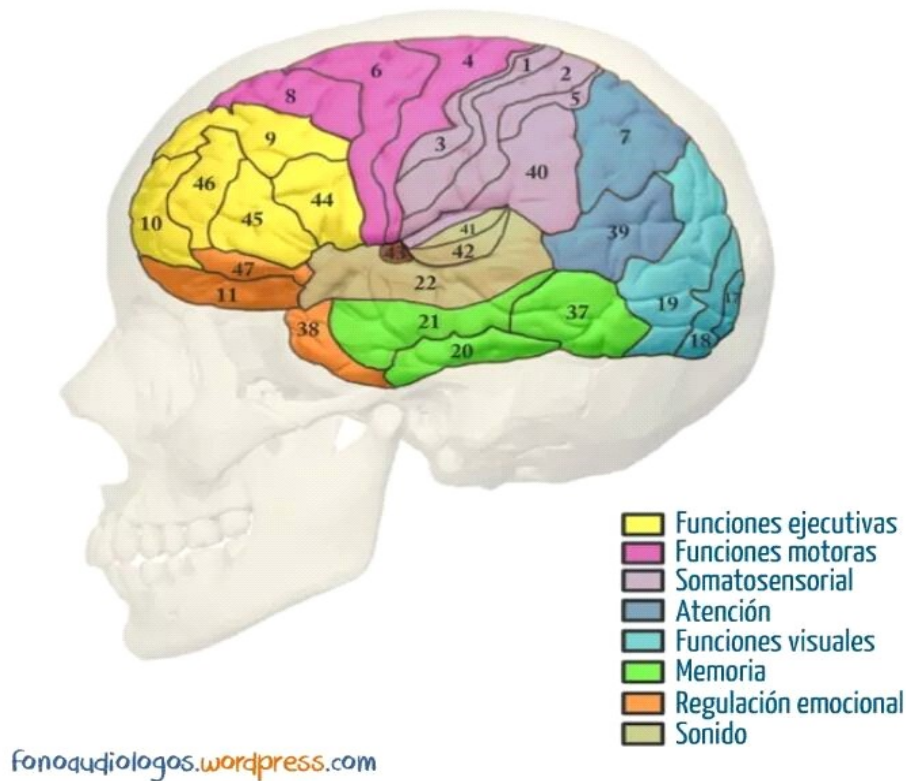


Figura C.1: Áreas de Brodmann[12]

C.2. Desarrollo de las pruebas

En la sección(C.1) se ha explicado la importancia de la localización de los sensores en función de las áreas de Brodmann. También se ha indicado a que el dispositivo Emotiv Epoc+ no posee sensor en la posición Pz con respecto al sistema 10-20, pero se ha demostrado en varios proyectos, mencionados a lo largo de la memoria, que el sensor que mejor captura la señal de los potenciales evocados cognitivos es el sensor P7, pero este sensor se encuentra entre el área de Brodmann 37 y 39, como se muestra en la figura(C.1). Este sensor es capaz de recibir señales procedentes de un área cuya función es la atención y otra área cuya función es la memoria.[24]

Conociendo esta primera limitación del dispositivo Emotiv Epoc+ se debe realizar una prueba que pueda ajustarse a esta limitación, esto significa, poder utilizar la función de la memoria dentro de la prueba.[24]

En este proyecto se han realizado dos modelos de prueba, la primera de ellas consiste en un vídeo en el cual aparecen todas las cartas de la baraja española, aparecen con una frecuencia de 1 Hz. Esto hace posible que el sujeto pueda ver con claridad la carta mostrada en la pantalla del ordenador, pero no tanto tiempo como para bajar

la atención. En esta prueba se estimula el área de Brodmann de la atención, al tener que estar atenta a la carta que aparece en cada momento y el área de Brodmann de la memoria, se debe recordar la carta en la cual se esta pensando. En esta prueba la estimulación del área de la memoria es menor que la estimulación del área de la atención.[37][16][38][35][1][24][34][2][35][36]

El segundo modelo de prueba consiste en contar el número de veces que aparece un tipo de estímulo. En esta prueba aparecen dos tipos de estímulos, uno frecuente y uno infrecuente. En la prueba aparecen en pantalla un círculo de color verde o morado, en la figura(C.2) se muestra el estímulo frecuente, aparece un 97% de las veces. En la figura(C.3) se muestra el estímulo infrecuente, aparece con un 3% de las veces.[37][16][38][35][1][24][34][2][35][36]

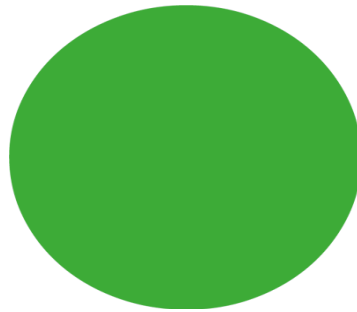


Figura C.2: Estimulo visual verde[39]

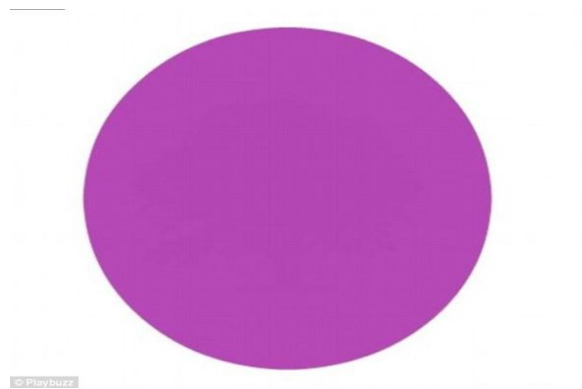


Figura C.3: Estimulo visual morado[39]

El estímulo infrecuente es el estímulo que evoca la aparición de potenciales evocados P300. Además de estar atento a la aparición del estímulo evocador, se pide al usuario que cuente el número de veces que ha aparecido a lo largo de la prueba. El hecho de contar el número de veces que aparece un evocador tiene dos funciones, la primera de ellas es asegurarnos en cuantos evocadores ha estado atento y con ello, cuantos ha podido distinguir. El segundo objetivo de contar el número de evocadores hace que el área de la memoria este en funcionamiento, al contar, la memoria se actualiza, haciendo que el potencial evocado sea más fácil de detectar.[37][16][38][35][1][24][34][2][35][36]

C.3. Diseño de un programa de detección de potenciales evocados

En los últimos años se han desarrollado distintos métodos de detección de potenciales evocados. La mayoría de los métodos se basan en métodos estadísticos, entre los que destacan los usos de ANOVAs y el uso de clusters, estos últimos utilizados en este proyecto. También se usan correlaciones para comparar posibles potenciales evocados con plantillas de potenciales evocados.[41]

El método que se utiliza para detectar potenciales evocados depende en gran parte del programa que se utiliza en el proyecto. En este proyecto se ha utilizado el software Matlab con la librería EEGlab, en la sección(B.2) se explica en mas detalle la librería EEGlab y donde descargarlo.

Otro programa utilizado en el procesamiento de electroencefalogramas es el software Cartool, que se puede descargar desde <https://goo.gl/NDEu1b> .[41]

Los métodos que se están utilizando en la actualidad para detectar potenciales evocados son:

- Clusters.
- ANOVA.
- Correlación.

En la utilización de clusters hay diferentes factores que influyen, entre ellos se destacan el número de clusters que se realizan, se recomienda el uso de 3 clusters, se considera que 3 es un número aceptable ya que no son ni muy pocos, 2, ni muchos.[41]

El segundo factor que influye es la forma de separar la señal en clusters. En este proyecto se han creado matrices con una 128 filas, esto significa que en cada columna hay un segundo de datos, la frecuencia de muestreo de Emotiv Epoc+ son 128 Hz. Pero si se deciden hacer columnas con 64 filas, medio segundo de datos, se puede proceder a buscar secuencias de datos y no un solo cluster.

El método utilizado en este proyecto ha sido crear matrices con 128 filas, esto equivale a 1 segundo de información y tantas columnas como segundos hay en la prueba, a esto se le ha añadido una columna extra en la cual se encuentra la plantilla del potencial evocado medio. Se ha convertido la señal en una matriz debido a que se ha utilizado la función kmeans de Matlab.

Ejemplo:

- Se han hecho matrices con 128 filas, esto hace que cree clusters en los cuales agrupa momentos con duración 1 segundo, como las plantillas de nuestro

programa tienen duración 1 segundo, se han de buscar aquellos momentos que estén en el mismo cluster que nuestra plantilla de potencial evocado.

- Se han hecho matrices con 64 filas, esto hace que cree clusters en los cuales agrupa momentos con duración medio segundo. En este caso se debe buscar la secuencia que compone nuestro ejemplo de potencial evocado, un ejemplo sería 1 2, esto significa que se han de buscar los momentos en los cuales aparece esa secuencia de clusters. pudiendo aumentar el tamaño de la serie.

C.4. Ejemplo

En esta sección se va a explicar un ejemplo de procedimiento que se ha de seguir para realizar una prueba. Se va a explicar el procedimiento para localizar la posición de los estímulos evocadores por medio de la detección de potenciales evocados.

Este proceso consta de dos fases, la primera fase consiste en la adquisición de plantillas de potenciales evocados. Las plantillas se definen a partir de potenciales evocados auténticos, además de definir estas plantillas, se define una plantilla a partir de la media de las plantillas.

C.4.1. Definición de plantillas

- 1) Realización de una prueba en la cual haya estímulos que sean capaces de evocar potenciales evocados.
- 2) Con la sesión ya grabada se procede a leerla en Matlab. La lectura de los datos se hace utilizando la librería de Matlab EEGlab. Para organizar los datos se utiliza el archivo "emotiv.ced" en la subsección(B.2) se explica como obtenerlo.
- 3) Se debe indicar en que momentos ha habido estímulos capaces de evocar un potencial evocado.
- 4) La señal es filtrada con un filtro paso alto a 0.5 Hz y un filtro paso bajo a 30 Hz. Se usa este tipo de filtrado para eliminar todas aquellas frecuencias que no están en el rango de frecuencias de las ondas encefalográficas, se explica en la sección(1.2).
- 5) Se procede a normalizar la señal. Normalizar la señal consiste en centrar la señal en 0 y obtener una señal con desviación típica 1. De este modo se pueden comparar sesiones de distintos usuarios y distintas sesiones. Además, se puede usar la estadística para facilitar los cálculos.

- 6) Se busca en los momentos en los cuales se ha indicado que ha habido un estímulo evocador la amplitud de la onda. Para ello se centran las ondas en el pico más alto de la onda. Se seleccionan como potenciales evocados solo aquellas ondas con una amplitud mayor a 3, al haber sido normalizado, el 99,7% de los datos tienen un valor menor que 3. Por ello se escogen esos valores, así se utilizan para definir como nuevas plantillas aquellos momentos en los cuales había un evocador y tienen una amplitud mucho mayor que el resto de valores. En la figura (C.4) se muestra la plantilla del potencial evocado medio, obtenido calculando la media de las plantillas de potenciales evocados definidos hasta el momento.

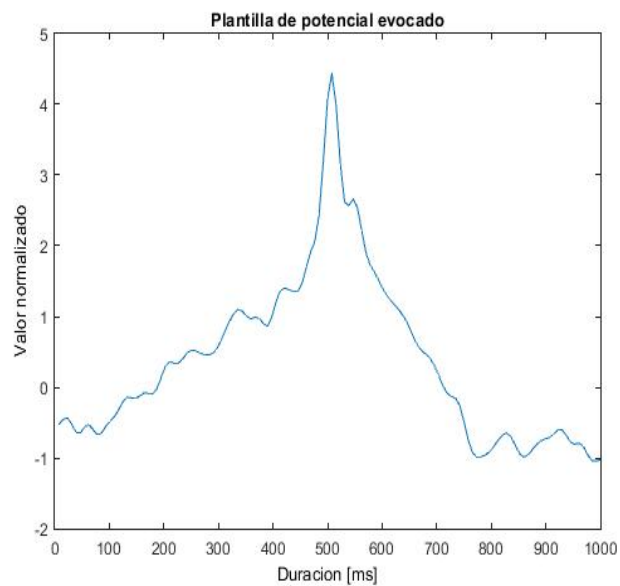


Figura C.4: Plantilla de potencial

C.4.2. Localización de potenciales evocados

- 1) Se realizan dos sesiones con la misma prueba.
- 2) Se leen los datos utilizando Matlab y la librería EEGLab.
- 3) Se puede indicar la falta de sincronización entre las dos sesiones. Esto hace posible que si ha habido una falta de sincronización de 1 segundo, pueda considerarse en el programa.
- 4) Se debe indicar el límite del coeficiente de correlación de Pearson a partir del cual se considera potencial evocado.
- 5) Se indica el número de clusters en los cuales se desea dividir la señal.

- 6) Las señales son filtradas con un filtro paso alto a 0.5 Hz y un filtro paso bajo a 30 Hz. Se usa este tipo de filtrado para eliminar todas aquellas frecuencias que no están en el rango de frecuencias de las ondas encefalográficas, se explica en la sección(1.2).
- 7) Se procede a normalizar las señales. Normalizar las señales consiste en centrar las señales en 0 y obtener señales con desviación típica 1. De este modo se pueden comparar sesiones de distintos usuarios y distintas sesiones. Además, se puede usar la estadística para facilitar los cálculos. En la figura(C.5) se muestran los pasos de filtrado y normalizado, 3 primeras cuadrículas.
- 8) Habiendo sido filtradas y normalizadas las señales se procede a realizar los clusters. Para ello se cogen segundo por segundo en ambas señales. Cada segundo es centrado en el pico de mayor amplitud, para así asemejarlo más a las plantillas de potenciales evocados. Cada segundo, ya centrado, se convierte en una columna de la matriz que contiene todos los instantes de la sesión. A esta matriz se le añade una columna mas en la cual se encuentra la plantilla de los potenciales evocados medios.
- 9) Tras realizar el cluster se seleccionan aquellos instantes que se encuentran el mismo grupo que la plantilla de potencial evocado, estas ondas poseen características parecidas a los potenciales evocados. Estas ondas se consideran ondas preseleccionadas. En la figura(C.5), cuarta imagen, se muestra un ejemplo de la división de los segundos.
- 10) Comparación por medio del coeficiente de correlación de Pearson. En esta fase se procede a comparar utilizando el coeficiente de correlación de Pearson las ondas preseleccionadas con las plantillas de potenciales evocados obtenidos en la primera parte del programa y también con plantillas de momentos en los cuales no hubo un potencial evocado. En la figura(C.6) se muestra la comparación entre las plantillas y las ondas preseleccionadas. Solo serán seleccionadas aquellas ondas cuyo coeficiente de correlación de Pearson con la plantilla del potencial evocado sea mayor que con la plantilla de estado normal, además, debe ser el coeficiente de correlación mayor al limite indicado a comienzo del programa.
- 11) Comparación entre las dos sesiones. En la figura(C.7) se muestra un ejemplo de la comparación que se hace. Solo se seleccionan como momentos en los cuales ha aparecido un autentico potencial evocado debido a la prueba a aquellos momentos en los cuales ha aparecido un potencial evocado en el mismo instante en las dos pruebas, teniendo en cuenta la posibilidad del desfase debido a la falta de sincronización que ha sido indicada a comienzo del programa. Esto se hace para eliminar potenciales

evocados originados por factores externos a la prueba. Trae consigo la posibilidad de eliminar momentos en los cuales había habido un potencial evocado pero debido a la falta de atención en una de las sesiones no se considera como tal.

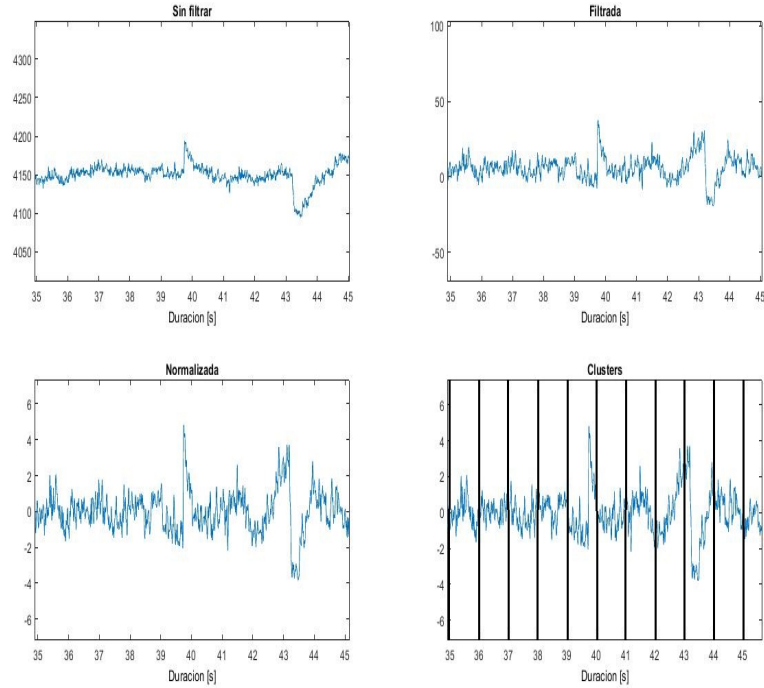


Figura C.5: Pasos seguidos

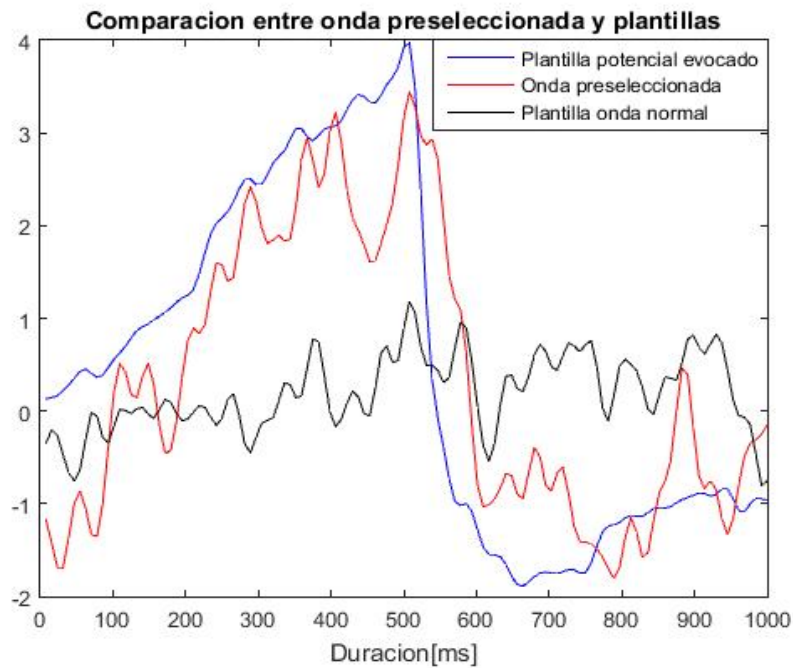


Figura C.6: Comparación de onda preseleccionada con plantillas.

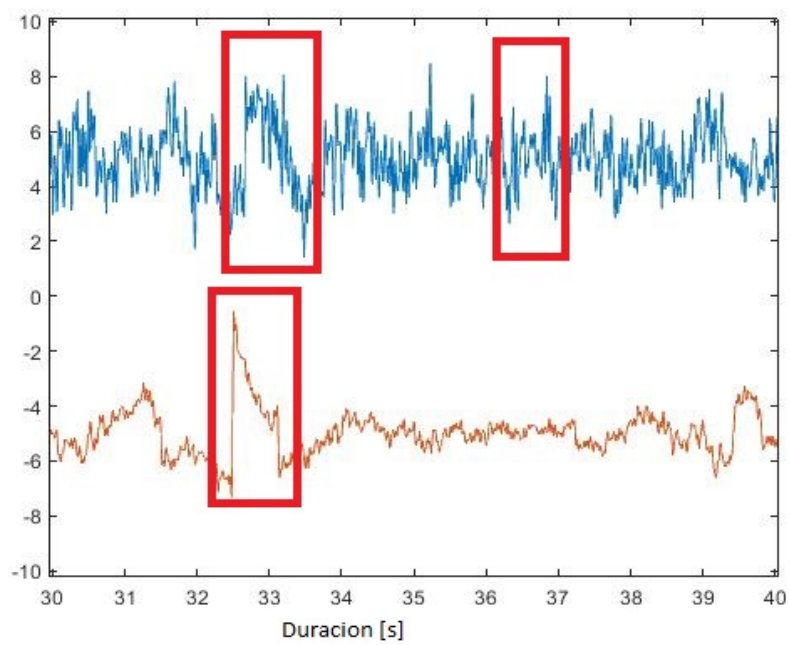


Figura C.7: Comparación de señales de distintas sesiones.