

MEMORIA FINAL

MEMORIA TÉCNICA

DATOS DESCRIPTIVOS

- Título del Proyecto: **Diseño, desarrollo y evaluación de un navegador web controlado mediante una interfaz cerebro-ordenador para personas con grave discapacidad motora**
- Fecha de inicio: **01/04/2014** Fecha fin: **31/03/2015**
- Nombre del Grupo de Investigación: **Grupo de Ingeniería Biomédica (Universidad de Valladolid)**
 - Nombre Investigador Principal: **Roberto Hornero Sánchez**
 - DNI:
 - Dirección personal: **E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, Paseo Belén 15, 47011 - Valladolid**
 - Teléfono: **983185570**
 - E-mail: **robhor@tel.uva.es**
- Institución/entidad a la que se asocia el Investigador Principal: **Universidad de Valladolid**
- Subvención concedida por la Fundación HERGAR (en euros): **2.000 €**

Indicar las personas que han participado en el proyecto subvencionado, así como la entidad a la que pertenecen

Apellidos, nombre	DNI	Institución a la que pertenecen
Poza Crespo, Jesús		Universidad de Valladolid
García Gadañón, María		Universidad de Valladolid
Gómez Peña, Carlos		Universidad de Valladolid
Corralejo Palacios, Rebeca		Universidad de Valladolid
Álvarez González, Daniel		Universidad de Valladolid
Gutiérrez Tobal, Gonzalo C.		Universidad de Valladolid
Bachiller Matarranz, Alejandro		Universidad de Valladolid
Alonso Nicolás, Luis F.		Universidad de Valladolid
Gómez Pilar, Javier		Universidad de Valladolid

1. Resumen y objetivos del proyecto

Los sistemas Brain Computer Interface (BCI) traducen las intenciones del usuario, recogidas mediante electrodos situados sobre el cuero cabelludo, en comandos de control de un dispositivo. El objetivo principal del presente proyecto consistía en desarrollar una aplicación de navegación web controlada mediante la señal de electroencefalograma (EEG) para facilitar el acceso y uso de Internet a las personas con grave discapacidad motora. La aplicación BCI implementada permite a estos usuarios enviar comandos de control al navegador web sin necesidad de manejar físicamente el ordenador. El sistema permite interactuar con el explorador web mediante las siguientes acciones: acceder a la página de inicio, navegar por el historial de navegación web, acceder a cualquier página web haciendo “click” en cualquier enlace contenido en la página visualizada, cumplimentar formularios web, etc.

La aplicación ha sido diseñada y evaluada en colaboración con profesionales y usuarios del Centro de Referencia Estatal para la Atención a Personas con Grave Discapacidad y para la Promoción de la Autonomía Personal y Atención a la Dependencia (CRE-DyD) de San Andrés de Rabanedo (León). Los resultados del proyecto contribuyen a incrementar la autonomía y privacidad de las personas dependientes a la hora de navegar en Internet, fomentando el desarrollo/relación social de las personas (redes sociales, información en tiempo real, etc.).

Estudios previos en el ámbito de la asistencia a personas con discapacidad demostraron la adecuación de los sistemas BCI al desarrollo de nuevas herramientas asistivas orientadas a mejorar/facilitar su calidad de vida. Por ello, el objetivo principal de este proyecto consistió en diseñar, desarrollar y evaluar una aplicación de ayuda a la navegación web controlada mediante BCI orientada a las personas con grave discapacidad motora. Para llevar a cabo este objetivo principal, se fijaron los siguientes objetivos específicos:

- 7.1. Estudiar e implementar métodos de detección de potenciales P300 en la señal de EEG adecuados a las características de la herramienta de navegación web.
- 7.2. Crear una población de estudio, compuesta por usuarios con grave discapacidad, que permita diseñar y evaluar correctamente la aplicación. La población estará formada por usuarios del CRE-DyD de León.
- 7.3. Crear una base de datos de registros de EEG de los sujetos bajo estudio durante el uso del sistema BCI de navegación web.
- 7.4. Diseñar y desarrollar una aplicación de navegación web controlada mediante BCI que se adapte a las necesidades de las personas con grave discapacidad motora. Esta aplicación

integrará los métodos de detección de potenciales P300 implementados y una interfaz gráfica sencilla, agradable, funcional y eficiente.

7.5. Evaluar la eficacia y utilidad de la aplicación de navegación web mediante pruebas realizadas por usuarios con grave discapacidad del CRE-DyD de León. Extraer conclusiones a partir de la experiencia de los usuarios con el sistema BCI.

7.6. Difundir los resultados del proyecto en congresos nacionales e internacionales, así como en revistas internacionales indexadas. Divulgar los resultados para concienciar a la sociedad sobre los retos y posibles soluciones para el colectivo de personas con grave discapacidad.

2. Descripción de la relación de actividades desarrolladas durante la ejecución del proyecto

En el presente proyecto se ha desarrollado un sistema BCI para implementar un navegador web controlado mediante la actividad cerebral del usuario, facilitando así el acceso a Internet de las personas con grave discapacidad motora. En los sistemas BCI, el registro de la actividad cerebral se realiza habitualmente mediante la técnica del EEG, ya que se trata de un método no invasivo, de bajo coste, portátil y fácil de usar. A partir del EEG se pueden obtener distintos tipos de señales adecuadas para controlar un dispositivo: potenciales evocados visuales, potenciales evocados P300, potenciales corticales lentos y ritmos sensoriomotores. En este proyecto, se ha desarrollado un sistema BCI basado en potenciales P300. La ventaja de este sistema es que permite presentar una interfaz sencilla pero con múltiples opciones a los usuarios. Además, a diferencia de los sistemas basados en potenciales corticales lentos o ritmos sensoriomotores, estos sistemas no requieren de una etapa intensiva de entrenamiento previo.

2.1. Estudio sistemas BCI basados en potenciales P300

Durante la primera etapa del proyecto, se profundizó en el estudio de los sistemas BCI basados en potenciales P300. Las aplicaciones BCI que emplean potenciales evocados P300 se basan en el paradigma *oddball*. Dicho paradigma consiste en presentar al usuario múltiples estímulos, de forma que el estímulo deseado (el que tiene que ver con la opción que el usuario desea seleccionar) aparezca de forma poco frecuente mientras que se presenta también al usuario otros estímulos no deseados (el resto de opciones que el usuario no desea seleccionar en ese momento) pero que aparecen de forma mucho más frecuente. La típica aplicación BCI basada en P300 permite seleccionar letras, números u otros caracteres que se muestran al usuario

organizados en una matriz de 6x6 elementos. Cada 125 ms se ilumina o intensifica una fila o columna de caracteres, de forma que tras una secuencia de 12 iluminaciones cada fila y columna se habrá iluminado una vez. Así, cada carácter se habrá iluminado dos veces. Cuando se ilumine la fila o la columna que contiene el carácter deseado, aparecerá de forma espontánea un potencial evocado en la actividad cerebral del usuario, aproximadamente 300 ms después de haberse producido ese estímulo. Esto se produce porque es bastante menos probable que se ilumine la fila o la columna que contienen el carácter deseado (2 de 12) a que se ilumine cualquier otra fila o columna (10 de 12). Por lo tanto, analizando la actividad cerebral del usuario es posible determinar la fila y la columna para las que apareció ese potencial evocado y determinar así cuál es la opción que desea seleccionar el usuario.

Tras un estudio exhaustivo de métodos de procesado de la señal EEG aplicables a sistemas BCI basados en P300, se identificaron e implementaron los métodos más adecuados para el presente proyecto. Para determinar la presencia o ausencia de potenciales evocados P300, en primer lugar, es necesario caracterizar la señal de EEG. Para el sistema propuesto en el presente estudio se ha seleccionado el método de extracción de características *peak picking*. Este método se basa en el cálculo de la amplitud del potencial evocado P300. Para ello, se determina la diferencia entre el punto más negativo previo a la ventana establecida, que habitualmente comprende de 220 ms a 500 ms una vez producido el estímulo, donde típicamente aparece el potencial P300, y el punto más alto dentro de dicha ventana. Una vez extraídas las características, es necesario resolver un problema de clasificación binario. Para ello, se aplicará un análisis discriminante lineal paso a paso (*StepWise Linear Discriminant Analysis*, SWLDA). SWLDA reduce el espacio de características de partida seleccionando las más apropiadas. En primer lugar, los pesos de las características del espacio de partida son determinados mediante el discriminante lineal de Fisher. Posteriormente, las características más significativas se añaden a la función discriminante. A medida que se van añadiendo características, se van eliminando aquellas que son menos significativas. La eliminación de una característica se decide en base a un umbral de significación estadística. Este proceso se repite hasta que se obtiene un número máximo de características prefijado, o bien, hasta que no haya características que satisfagan el criterio de eliminación. Así, a partir de un conjunto de datos de entrenamiento, es posible crear un clasificador personalizado para cada usuario de la aplicación.

2.2. Creación de la población de estudio

Durante la siguiente etapa del proyecto, se formó la población bajo estudio. Para ello, se contó con la colaboración del CRE-DyD de León. Los sujetos incluidos en el estudio fueron personas de ambos sexos y mayores de 18 años. De acuerdo a los criterios de los neuropsicólogos del

CRE-DyD se seleccionaron 16 participantes para el estudio, todos ellos afectados por esclerosis múltiple. La edad media de la población fue de 42.06 ± 7.47 años. La Tabla 1 muestra las características sociodemográficas y clínicas de los usuarios participantes. Cada uno de los participantes fue informado y preguntado sobre su participación en el estudio, dando su consentimiento para formar parte del mismo.

2.3. Diseño e implementación de la aplicación BCI

La siguiente etapa de ejecución del proyecto, consistió en el diseño e implementación de la aplicación BCI de navegación web. Tanto el personal, como los usuarios del CRE-DyD participaron activamente en el diseño de la aplicación. De esta forma, se propuso un diseño de la aplicación sencillo, funcional, eficaz y adaptado a las necesidades de los usuarios finales. La aplicación fue implementada en lenguaje C++ empleando el entorno de desarrollo Microsoft Visual Studio Professional 2010 y el sistema de propósito general BCI2000. El funcionamiento del navegador BCI se describe a continuación.

La aplicación desarrollada permite controlar un navegador web a partir únicamente de la actividad cerebral. En la Figura 1, se muestran los tres bloques principales de los que consta la aplicación: adquisición de la señal, “BCI Browser: P3Speller” y “BCI Browser: Navigator”. El bloque de adquisición de la señal registra la señal EEG del usuario a través de varios electrodos activos y un amplificador de señales biomédicas. A continuación, el segundo bloque de la aplicación, llamado “BCI Browser: P3Speller”, se encarga de procesar la señal EEG a través del

Usuario	Sexo	Edad	Años de estudio	Discapacidad motora	Capacidad cognitiva	Capacidad de atención sostenida
U01	M	30	19	Nula	Muy buena	Muy buena
U02	H	31	14	Nula	Buena	Muy buena
U03	H	43	13	Leve	Muy buena	Buena
U04	M	47	16	Moderada	Normal	Buena
U05	H	56	12	Moderada	Baja	Muy mala
U06	M	32	20	Nula	Normal	Regular
U07	H	35	9	Nula	Muy buena	Muy buena
U08	H	41	11	Nula	Buena	Buena
U09	M	49	13	Nula	Normal	Muy buena
U10	H	44	10	Leve	Normal	Mala
U11	M	41	17	Moderada	Normal	Buena
U12	H	43	10	Moderada	Muy buena	Regular
U13	H	44	15	Nula	Buena	Buena
U14	H	52	11	Moderada	Muy buena	Regular
U15	M	38	14	Nula	Normal	Buena
U16	H	47	12	Moderada	Normal	Regular

Tabla 1. Características demográficas y clínicas de la población empleada para evaluar la aplicación BCI.



Figura 1. Estructura principal de la aplicación de navegación web desarrollada.

sistema de propósito general BCI2000 y de mostrar al usuario una de las dos matrices de estímulos que presentan los diferentes comandos que se pueden ejecutar mediante la aplicación. La señal EEG se filtra y se extraen las características más relevantes de los potenciales P300 evocados por el paradigma *oddball*. A continuación, se aplica un filtro espacial CAR (*Common Average Reference*, referencia de media común) para reducir el difuminado espacial en los electrodos deseados y se realiza un promediado temporal de las épocas correspondientes a cada estímulo, para distinguir entre las que presentan un potencial evocado y las que no. Posteriormente, las características más relevantes se seleccionan aplicando SWLDA (*StepWise Linear Discriminant Analysis*, análisis discriminante lineal paso a paso) y después se aplica un clasificador lineal que permite determinar cuál es el comando que el usuario desea seleccionar. Finalmente, se compara la intensidad del potencial detectado para determinar si el usuario pretendía efectivamente seleccionar un comando o si en ese momento no estaba atendiendo a la matriz de estímulos sino leyendo información en la pantalla del navegador. Si se supera el umbral prefijado, se envía al navegador una pulsación de teclado, que se corresponde con el comando deseado; en caso contrario, se comunica al navegador que el umbral no ha sido superado. El tercer bloque de la aplicación, identificado como “BCI Browser: Navigator”, se encarga de procesar los comandos de teclado recibidos del bloque anterior y traducirlos en comandos del navegador Google Chrome. Para ello se ha desarrollado una extensión del mismo basada en lenguaje JavaScript.

La aplicación consta de tres bloques que se comunican entre sí para poder proveer al usuario de una navegación completa y libre. En términos generales, la interfaz gráfica se compone de una matriz de comandos a la derecha de la pantalla y el navegador web Google Chrome a la izquierda de la misma. Debido al gran número de comandos necesarios para controlar el navegador web, se han desarrollado dos matrices que se intercalan a voluntad del usuario. En la Figura 2 se muestra la interfaz de la aplicación propuesta. Estas matrices se encargan de presentar al usuario los comandos que puede seleccionar a través del paradigma *oddball*. Para ello, sus filas y sus

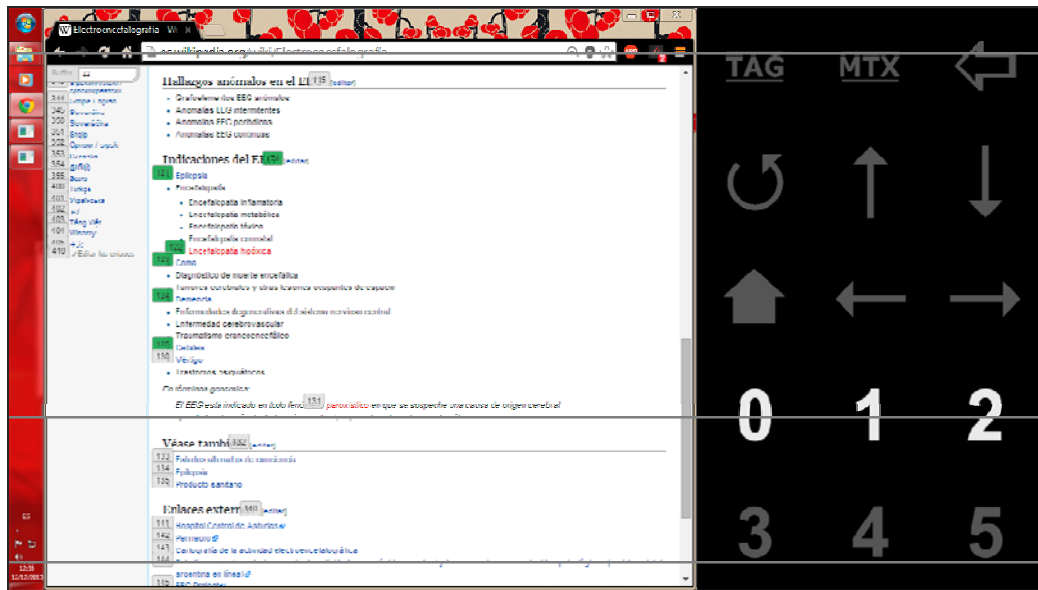



Figura 2. Interfaz gráfica de la aplicación desarrollada.








columnas se iluminan de manera aleatoria de forma que aparece un potencial evocado P300 en la señal EEG de usuario cada vez que el comando que quiere seleccionar (y al que está atendiendo) se ilumina. Mediante la detección de dichos potenciales se determina cuál es el comando seleccionado. Puesto que se trata de un paradigma síncrono, en el que las filas y columnas de las matrices se iluminan continuamente, es posible que se seleccionen comandos no deseados cuando el usuario no está atendiendo a la matriz sino leyendo el contenido de la página web. Por esta razón se ha implementado un umbral que determina si la intensidad del potencial detectado es lo suficientemente elevada, como para considerar que se trata de una auténtica selección, o si es demasiado bajo, lo que indicaría que el usuario está atendiendo a la página web y no a la matriz. Este umbral varía entre usuarios y se determina mediante las sesiones de calibración iniciales. Para seleccionar los hipervínculos de una web y poder navegar de una página a otra sin necesidad de ningún supervisor, la aplicación codifica y etiqueta todos los hipervínculos y los campos de formularios de la página web que se está visualizando. De esta manera, cuando el usuario desea seleccionar un hipervínculo o introducir texto en un formulario, solamente tiene que introducir la codificación asociada al mismo, la cual estará formada por dígitos del 0 al 5. Para ello, se fijará en los comandos correspondientes presentados en la matriz de estímulos.




El bloque “BCI Browser: P3Speller” se encarga de permitir al usuario configurar los distintos parámetros que caracterizarán a la aplicación, de generar los potenciales evocados P300, de procesar la señal EEG adecuadamente y de determinar si realmente el usuario deseaba seleccionar un comando determinado a través del umbral. A causa del gran número de comandos necesarios para poder experimentar una navegación web libre de restricciones se han desarrollado

dos matrices *oddball* distintas que se intercalan entre ellas a voluntad del usuario. Estas matrices son la matriz de navegación y la matriz de teclado. La matriz predeterminada que se muestra al iniciar la aplicación es la matriz de navegación. Dicha matriz es de tamaño pequeño, compuesta por 5 filas y 3 columnas, con 15 celdas en total. En esta matriz se incluyen únicamente los comandos que afectan a la navegación web, como los *scrolls*, el retroceso de página, la actualización del navegador, etc. El pequeño tamaño de esta matriz permite que la navegación a través de las distintas páginas web sea rápida debido a que se necesita un menor número de iluminaciones para seleccionar cada comando deseado, por esta razón se han omitido la mayor parte de los caracteres alfanuméricos habituales, más útiles para la redacción que para la navegación web. En la Figura 3(a) se muestra la matriz de navegación cuyos comandos se describen a continuación.

- El primer comando, denominado “TAG”, es un conmutador que permite activar o desactivar el etiquetado de nodos (hipervínculos y formularios) por parte de “BCI Browser: Navigator”. De esta manera, el usuario puede leer tranquilamente una web sin etiquetas y activarlas cuando desee navegar a través de los hipervínculos o introducir algo en los formularios.
- El segundo comando, denominado “MTX”, es otro conmutador que permite alternar entre la matriz de navegación y la matriz de teclado.
- El tercer comando (“

8

<u>TAG</u> (1)	<u>MTX</u> (2)	 (3)
 (4)	 (5)	 (6)
 (7)	 (8)	 (9)
0 (10)	1 (11)	2 (12)
3 (13)	4 (14)	5 (15)

A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)
F (6)	G (7)	H (8)	I (9)	J (10)
K (11)	L (12)	M (13)	N (14)	O (15)
P (16)	Q (17)	R (18)	S (19)	T (20)
U (21)	V (22)	W (23)	X (24)	Y (25)
Z (26)	0 (27)	1 (28)	2 (29)	3 (30)
4 (31)	5 (32)	6 (33)	7 (34)	8 (35)
9 (36)	 (37)	. (38)	 (39)	<u>SPACE</u> (40)
@ (41)	 (42)	- (43)	, (44)	<u>MTX</u> (45)

MATRIZ DE NAVEGACIÓN MATRIZ DE TECLADO

(a)

(b)

Figura 3. Matrices utilizadas en la aplicación BCI Browser: P3Speller. A la izquierda se muestra la matriz de navegación; a la derecha, la matriz de teclado.

nodos de la web, la función de “←” es la de un desplazamiento horizontal de la web hacia la izquierda (*scroll left*); por el contrario, si el conmutador “TAG” sí está activo y los nodos están etiquetados, la función del comando variará dependiendo de si el cursor se encuentra dentro de un formulario o no. Si no se ha seleccionado ningún formulario, la función de “←” será la de borrar el último carácter introducido en el buffer, sin embargo, si el cursor se encuentra dentro de un formulario, “←” permitirá abandonar el mismo para poder seleccionar otro nodo distinto.

- El noveno comando (“→”, *scroll right*) permite mover la barra de desplazamiento hacia la derecha.
- (10), (11), (12), (13), (14) y (15) Los siguientes comandos simplemente envían una pulsación de teclado de los seis dígitos que se utilizan para codificar los nodos en “BCI

Browser: Navigator”. La inclusión de estos caracteres alfanuméricos en la matriz de navegación permite agilizar la navegación entre páginas.

A diferencia de la matriz de navegación, la matriz de teclado es una matriz grande, compuesta por 5 columnas y 9 filas, resultando en 45 celdas en total. Esta matriz está destinada a redactar texto o rellenar formularios. Cuenta con la mayor parte de caracteres alfanuméricos y con los símbolos más utilizados en la jerga de Internet. Como se puede observar en la Figura 3(b), desde el comando (1) hasta el (26) se corresponden con las letras del alfabeto latino y simplemente se encargan de enviar las pulsaciones de teclado adecuadas para cada una. Lo mismo ocurre con todos los números, desde el (27) hasta el (36). De ahí en adelante se muestran comandos adicionales:

- (37), (38), (39), (40), (41), (42), (43), y (44) Envían las pulsaciones de teclado correspondientes a la barra baja (“_”, *underscore*), al punto (“.”, *point*), al retorno (“↵”, *enter*), a la barra espaciadora (“ ”, *spacebar*), a la arroba (“@”, *at*), al retroceso (“←”, *backspace*), al guión (“-”, *dash*) y a la coma (“,”, *comma*), respectivamente.
- (45) Aparece el comando “MTX” de nuevo, conmutador que permite alternar entre la matriz de navegación y la matriz de teclado.

Finalmente, el tercer bloque o “BCI Browser: Navigator” se encarga de procesar los comandos de teclado recibidos del BCI Browser: P3Speller y traducirlos en comandos del navegador Google Chrome. Para ello, se ha desarrollado una extensión del mismo en lenguaje JavaScript que interpreta las pulsaciones de teclado enviadas por el bloque anterior y actúa en consecuencia. La función más relevante de la extensión es la de etiquetar todos los hipervínculos y formularios existentes en la página web que se está visualizando con uno o varios caracteres numéricos. El usuario podrá seleccionar el hipervínculo o formulario deseado introduciendo esos caracteres, consiguiendo así una navegación libre controlada plenamente por el usuario. Para facilitar la fluidez de la aplicación, el número de dígitos que se utilizan para etiquetar los hipervínculos y los formularios, considerados ambos como nodos de la web, depende de la página que se esté visualizando. En primer lugar, la aplicación calcula el número de nodos que contiene la web y codifica éstos con un número de caracteres que permita etiquetarlos todos utilizando únicamente los dígitos 0, 1, 2, 3, 4 y 5. Una vez codificados y etiquetados se inicializa un *buffer* en la parte superior izquierda del navegador que servirá de realimentación al usuario para poder visualizar los caracteres que escribe mientras intenta seleccionar un nodo determinado. Además de indicar qué caracteres se han escrito anteriormente, el *buffer* indica qué nodos comienzan con la misma codificación, proveyendo al sistema de una realimentación intuitiva y en tiempo real. En la Figura 4 se muestra un ejemplo en el que el usuario ha introducido un “0”, el *buffer* lo indica e

ilumina los nodos que empiezan con esa codificación y, por tanto, pueden ser selecciones en potencia. Además, para aumentar la rapidez de la selección de nodos, la aplicación simula la introducción de un “ENTER” cuando el usuario ha introducido en el buffer el número necesario de caracteres para seleccionarlo, evitando así la creación de un comando adicional para confirmar la introducción de teclas en el *buffer* y disminuyendo el tiempo necesario para realizar la selección. Adicionalmente, el *buffer* permite borrar los caracteres introducidos si el usuario ha fallado en la selección del comando deseado. Además, el propio usuario puede activar y desactivar el etiquetado de nodos, mediante la selección del comando “TAG”, ya que éstos pueden ser molestos si el usuario desea leer tranquilamente una página web que contiene muchos hipervínculos.

2.4. Evaluación de la aplicación por usuarios del CRE de León.

Una vez finalizado el desarrollo del navegador web BCI, se llevó a cabo la etapa de evaluación del mismo por parte de un grupo de usuarios del CRE-DyD. La actividad cerebral se registró a partir de 8 canales EEG: Fz, Cz, Pz, P3, P4, PO7, PO8 y Oz, de acuerdo con el sistema internacional 10–20. Se empleó como referencia un electrodo conectado al lóbulo de la oreja derecha y como tierra un electrodo conectado en FPz. Las señales se registraron con una frecuencia de muestreo de 256 Hz y se amplificaron mediante un amplificador de señales biomédicas g.USBamp (Guger Technologies OG, Graz, Austria). La Figura 5 muestra varias imágenes de un participante durante la realización de las pruebas de evaluación del navegador.



Figura 4. Etiquetado de hipervínculos con BCI Browser: Navigator.



Figura 5. Pacientes de esclerosis múltiple utilizando la aplicación de navegación Web adaptada controlada mediante BCI durante las sesiones de evaluación de la herramienta: (a) Se observa al usuario escribiendo un texto en un campo de formulario que será enviado a través de la herramienta Web de mensajería instantánea Twitter. Es posible observar que el sistema de navegación Web propuesto no invade ni modifica los contenidos visualizados por el usuario, dando como resultado una experiencia de navegación más real y cómoda. A la derecha de la pantalla, se observa la matriz de teclado con la cuarta columna iluminada (estímulo de generación del potencial evocado P300 de acuerdo al paradigma *oddball*). (b) Se observa al usuario consultando información en la Web Wikipedia, independientemente de la presentación de estímulos en la matriz P300 de navegación, de acuerdo al sistema de umbralización de la respuesta evocada implementado en la herramienta. Mientras, a la derecha de la pantalla, se observa la matriz de navegación con la tercera columna iluminada.

El procedimiento experimental consistió en la realización de 4 sesiones con el navegador web BCI durante aproximadamente 2 o 3 semanas. En primer lugar los usuarios llevaron a cabo dos sesiones de calibración o *screening*. La primera sesión de calibración (Cal-I) se dividió en dos partes: entrenamiento del clasificador y entrenamiento del umbral. Para llevar a cabo el entrenamiento del clasificador, se realizaron en primer lugar 4 rondas de 6 selecciones cada una empleando 15 secuencias. Durante cada selección, el usuario se fija atentamente en el carácter de la matriz que quiere seleccionar y va contando mentalmente cuántas veces la fila o columna que contiene dicho carácter se ilumina. Puesto que se emplearon 15 secuencias, esto implica que cada fila y columna se iluminó 15 veces, por lo que tras una selección el carácter deseado se iluminó 30 veces. A partir de los datos registrados durante esta primera etapa se elaboró un clasificador personalizado para cada usuario y, además, se fijó el número de secuencias óptimo. Cuanto menor es el número de secuencias, se realizan menos iluminaciones para llevar a cabo una selección y, por tanto, cada selección se realiza más rápido. Sin embargo, para poder reducir el número de selecciones es necesario que la precisión obtenida por los usuarios sea elevada, ya que a menor cantidad de información existe mayor probabilidad de error en la toma de decisión del clasificador. En la segunda parte de la sesión Cal-I se llevó a cabo el entrenamiento del umbral.

Para ello, se realizaron 8 rondas de 6 selecciones cada una. En este caso, se emplea ya el clasificador personalizado y el número de secuencias óptimo para cada usuario. La mitad de las rondas se realizan en modo normal, es decir, el usuario atiende a un carácter de la matriz durante cada selección. Sin embargo, durante la otra mitad de las rondas el usuario no atiende a la matriz de la aplicación, sino que permanece atento al contenido de la ventana del navegador web. Es decir, mientras en la matriz se están iluminando filas y columnas, el usuario se encuentra leyendo información de la pantalla y, por lo tanto, ignorando a la matriz de estímulos. Por su parte, la segunda sesión de calibración (Cal-II) consiste en una etapa de entrenamiento del umbral, de la misma forma que durante la segunda parte de la sesión Cal-I. La información de estas rondas permite establecer un umbral, personalizado para cada usuario, que determina cuándo el usuario está atendiendo a la matriz de estímulos y cuándo está atendiendo al contenido de una página web y, por lo tanto, no desea llevar a cabo ninguna selección con la aplicación. De esta manera, se recogen las respuestas promediadas para cada clase de estímulos (atendidos y no atendidos) de cada sesión y se representan en una curva ROC. El umbral se determina como el promedio de los umbrales óptimos determinados por las curvas ROC de cada sesión. Además, durante las sesiones Cal-1 y Cal-2 se realizaron dos registros EEG basales de 2 min, al comienzo y al final de cada sesión. Tras las sesiones iniciales de calibración, los sujetos realizaron dos sesiones de evaluación del navegador web BCI, Eval-I y Eval-II. La opción de monitorización de la atención del usuario, determinada por el umbral, se activó únicamente durante la segunda sesión de evaluación. Durante cada sesión de evaluación, empleando la aplicación BCI, los usuarios llevaron a cabo varias tareas que se realizan habitualmente con un navegador web:

- desplazamiento por la pantalla y selección de un enlace en Wikipedia,
- búsqueda de información en Google,
- publicar un tweet a través de Twitter,
- enviar un correo electrónico, y
- leer una noticia en un periódico digital.

Las tareas propuestas requieren como mínimo de 6 a 13 selecciones de comandos. Tras finalizar la sesión Eval-II los participantes completaron un cuestionario en el que evaluaron diferentes aspectos del navegador web BCI desarrollado. En los casos en los que durante la primera sesión, Cal-I, el usuario no alcanzó un nivel de precisión del 70% durante la etapa de entrenamiento del clasificador, se repitieron de nuevo las rondas correspondientes al proceso de entrenamiento del clasificador. Si tras la realización de dos sesiones de calibración no fue posible obtener un clasificador fiable para dicho usuario, es decir, si no fue posible determinar con un

mínimo de precisión cuáles eran la fila y la columna que contenían el carácter deseado, ese usuario no procedió a realizar las sesiones de evaluación de la aplicación. Se fijó el umbral en un 70% ya que se considera la mínima precisión necesaria para conseguir un control aceptable de las aplicaciones BCI. Una vez finalizadas las sesiones de calibración y evaluación, se midió el rendimiento de los usuarios durante cada una de las sesiones experimentales y su grado de satisfacción respecto a la aplicación desarrollada.

La Tabla 2 presenta los resultados de precisión obtenidos durante las dos primeras sesiones experimentales o sesiones de Calibración. Esta tabla incluye, además, el número de secuencias y el umbral óptimo determinado para cada participante. Por su parte, las Tablas 3 y 4 recogen los resultados asociados a las distintas tareas de navegación realizadas durante las sesiones Eval-I y Eval-II, respectivamente. Para cada tarea llevada a cabo durante Eval-I, la Tabla 3 muestra cuatro resultados:

- FIN, que indica si el usuario pudo completar o no la tarea propuesta.
- ERR, que refleja para cuántas selecciones se produjo un error en la clasificación (cuando la opción seleccionada por el clasificador no coincidió con la opción deseada por el usuario).
- Selec. Extra, que indica cuántas selecciones a mayores fueron necesarias para que el usuario completase la tarea propuesta (ya que si se produce un error en la clasificación, la secuencia necesaria para completar la tarea propuesta puede verse modificada).

	Precision Cal-I	Precision Cal-II	Nº secuencias	Umbral
U01	87,50%	79,17%	10	823,58700
U02	91,67%	87,50%	6	985,09760
U03	<70%	75,00%	15	488,77900
U04	79,17%	95,83%	13	256,96075
U05	<70%	<70%	15	-
U06	83,33%	66,67%	15	736,47375
U07	83,33%	91,67%	7	738,74525
U08	83,33%	70,83%	6	501,03625
U09	75,00%	97,22%	10	428,95100
U10	91,67%	85,42%	13	623,53725
U11	<70%	<70%	-	-
U12	91,67%	61,11%	9	650,19450
U13	100,00%	66,67%	5	1710,05250
U14	91,67%	86,11%	10	507,42700
U15	91,67%	80,56%	6	489,18000
U16	<70%	<70%	15	-

Tabla 2. Resultados obtenidos durante las sesiones de Calibración.

	Wikipedia				Google				Twitter				Email			
	FIN	ERR	Selec. Extra	Tiempo	FIN	ERR	Selec. Extra	Tiempo	FIN	ERR	Selec. Extra	Tiempo	FIN	ERR	Selec. Extra	Tiempo
U01	Sí	0	0	3:35	Sí	0	0	6:05	Sí	2	3	5:20	Sí	7	8	15:04
U02	Sí	0	0	2:22	Sí	0	0	4:02	Sí	0	0	4:24	Sí	0	0	5:17
U03	No	6	-	-	Sí	1	1	6:42	No	3	-	-	-	-	-	-
U04	Si	0	0	2:48	Sí	0	0	4:45	Sí	0	0	2:49	Sí	1	1	6:24
U06	Sí	1	2	4:20	Sí	3	3	8:05	Sí	2	3	4:49	Sí	3	3	8:54
U07	Sí	3	5	4:45	No	4	-	-	Si	1	1	3:37	No	4	-	-
U08	Sí	0	0	3:12	Sí	0	0	6:20	Sí	1	2	4:50	Sí	0	0	6:58
U09	Sí	4	7	7:35	No	3	-	-	Si	0	0	3:20	No	8	-	-
U10	Sí	0	0	3:41	No	3	-	-	Sí	2	2	5:01	No	5	-	-
U12	No	5	-	-	Si	4	3	8:40	Sí	6	5	7:02	No	7	-	-
U13	No	4	-	-	Sí	1	1	4:26	Sí	0	0	2:13	Sí	3	2	7:12
U14	Sí	2	2	3:48	No	6	-	-	Sí	2	1	3:08	No	7	-	-
U15	No	5	-	-	Sí	3	2	5:31	Sí	2	2	3:57	No	4	-	-

FIN: indica si el usuario pudo completar la tarea propuesta.

ERR: número de selecciones para las que se produjo un error en la clasificación (cuando la opción seleccionada por el clasificador no coincidió con la opción deseada por el usuario).

Selec. Extra: número de selecciones que fueron necesarias a mayores para que el usuario completase la tarea propuesta (ya que si se produce un error en la clasificación, la secuencia necesaria para completar la tarea propuesta puede verse modificada).

Tiempo: tiempo empleado por el usuario para completar la tarea.

Tabla 3. Resultados obtenidos durante las diferentes tareas que comprende la sesión Eval-I.

	Umbral		Wikipedia				Twitter				Noticia leer					
	Precisión	FIN	ERR	FP Umbral	Selec. Extra	Tiempo	FIN	ERR	FP Umbral	Selec. Extra	Tiempo	FIN	ERR	FP Umbral	Selec. Extra	Tiempo
U01	90,00%	Sí	1	5	5	6:05	No	6	0	-	-	Sí	0	0	0	1:45
U02	100,00%	Sí	0	4	4	4:02	Sí	0	2	2	2:31	Sí	0	0	0	2:48
U03	100,00%	No	0	5	-	-	No	0	6	-	-	Sí	0	0	0	2:39
U04	87,50%	Sí	0	0	0	3:50	Sí	0	0	0	2:48	Sí	0	0	0	1:53
U06	87,50%	Sí	2	0	1	5:42	Sí	1	0	1	3:45	Sí	1	0	1	4:30
U07	60,00%	No	0	4	-	-	Sí	1	2	3	3:21	Sí	0	0	0	1:29
U08	90,00%	Sí	3	0	2	3:22	Sí	2	1	4	3:42	Sí	1	0	1	2:08
U09	60,00%	No	2	5	-	-	No	1	3	-	-	No	1	0	-	-
U10	100,00%	No	4	2	-	-	No	4	2	-	-	No	1	0	-	-
U12	90,00%	No	4	0	-	-	No	0	7	-	-	No	0	2	-	-
U13	90,00%	Sí	1	4	4	5:24	Sí	0	4	4	5:24	Sí	0	0	0	1:54
U14	80,00%	No	2	5	-	-	Sí	2	1	3	4:37	Sí	0	0	0	1:56
U15	90,00%	No	2	4	-	-	No	1	4	-	-	No	1	0	-	-

Precisión del umbral determinado: porcentaje de aciertos del umbral establecido a la hora de determinar si el usuario no está atendiendo a la matriz de estímulos.

FIN: indica si el usuario pudo completar la tarea propuesta.

ERR: número de selecciones para las que se produjo un error en la clasificación (cuando la opción seleccionada por el clasificador no coincidió con la opción deseada por el usuario).

FP Umbral: número de selecciones para las que el umbral determinó que el usuario no estaba atendiendo a la matriz de estímulos cuando sí que lo estaba haciendo.

Selec. Extra: número de selecciones que fueron necesarias a mayores para que el usuario completase la tarea propuesta (ya que si se produce un error en la clasificación, la secuencia necesaria para completar la tarea propuesta puede verse modificada).

Tiempo: tiempo empleado por el usuario para completar la tarea.

Tabla 4. Resultados obtenidos durante las diferentes tareas que comprende la sesión Eval-II.

- Tiempo, que refleja la duración empleada por el usuario para completar la tarea.

Para cada una de las tareas realizadas durante la sesión Eval-II, la Tabla 4 muestra la misma información que la Tabla 3 y, además, el número de falsos positivos (FP Umbral). Es decir, se indica para cuántas selecciones el umbral fijado determinó que el usuario no estaba atendiendo a la matriz de estímulos cuando en realidad sí que lo estaba haciendo. Cuando esto sucede, la aplicación no ejecuta ningún comando y el usuario ha de repetir la misma selección. No se incluyen dentro de los errores de clasificación, puesto que estos últimos implican que se ha ejecutado un comando no deseado. La Tabla 4 incluye también la precisión obtenida por el umbral durante una tarea de sólo lectura, en la que los usuarios tenían que leer una noticia mostrada en el navegador e ignorar la matriz de estímulos.

Tras finalizar las sesiones de evaluación de la aplicación, los participantes respondieron al cuestionario de satisfacción puntuando con un valor entre 1 (totalmente en desacuerdo) y 7 (totalmente de acuerdo) cada una de las afirmaciones que se les plantearon. Se intercalaron afirmaciones positivas (puntuación ideal = 7) con afirmaciones negativas (puntuación ideal = 1). De esta forma, se consigue que el usuario preste mayor atención al leer las preguntas, ya que no es lo mismo valorar con un 7 una afirmación positiva que una negativa. En la Tabla 5 se incluyen las puntuaciones medias y la desviación estándar (DE) para cada una de las cuestiones planteadas.

	Cuestión	Puntuación	
		Media	DE
1	Me ha resultado interesante conocer y usar el navegador BCI	6.23	0.93
2	Mis expectativas para el navegador BCI se cumplieron	5.69	1.18
3	Puedo imaginarme usando el navegador en mi vida diaria	4.62	1.71
4	En mi opinión, se tarda demasiado en navegar por Internet con el navegador BCI	4.77	0.93
5	Me he aburrido durante las sesiones	2.69	1.97
6	Me he impacientado durante las sesiones	2.77	1.79
7	Las sesiones me parecieron entretenidas/divertidas	5.38	1.19
8	Fue estresante concentrarme durante el tiempo requerido	2.92	1.71
9	Las sesiones me cansaron mucho	3.00	1.87
10	Realizaría nuevas sesiones con el navegador gustosamente	5.62	1.19
11	Estoy feliz de que hayan terminado las sesiones	4.23	1.88
12	Me ha resultado difícil seleccionar los comandos de la matriz de navegación	2.46	1.33
13	La interfaz del sistema es intuitiva y fácil de entender	5.92	1.32
14	Me ha resultado sencillo seleccionar los comandos de la matriz de teclado (letras)	5.31	1.32
15	El efecto de iluminación de los botones de la aplicación resulta molesto	3.69	2.10
16	Me gustan los ordenadores y la informática	4.92	2.36
17	Navego poco a través de internet	3.23	2.28
18	Me encantaría participar de nuevo en un estudio de características similares	5.15	1.52
19	La duración de las sesiones ha sido demasiado larga	2.38	1.45

Tabla 5. Media y desviación estándar de las puntuaciones otorgadas a cada pregunta del cuestionario.

Además, la Figura 6 muestra tanto las cuestiones planteadas a los usuarios como la distribución de sus respuestas. En la siguiente sección se discutirán los resultados obtenidos en la encuesta de satisfacción a los participantes.

2.5. Discusión y extracción de conclusiones

Durante la fase experimental los participantes interactuaron con el navegador Web BCI desarrollado. De los 16 sujetos que participaron en la evaluación, 13 superaron con éxito las dos primeras sesiones de Calibración. Para los 3 usuarios restantes (U05, U11, U16) no fue posible elaborar un clasificador fiable, que permitiera determinar con al menos un 70% de precisión cuál era la opción que desea seleccionar el usuario. Esto puede deberse a que los sujetos presentaban una respuesta evocada P300 muy atenuada y/o con una latencia muy variable, e incluso a que no fueran capaces de realizar la tarea (contar cuántas veces se atenúa el comando deseado en la matriz de estímulos) correctamente. El resto de usuarios realizaron a continuación dos sesiones de evaluación del navegador. Los resultados indican que no todos los usuarios fueron capaces de completar todas las tareas propuestas durante cada sesión. Se observa también que, en general, los usuarios que obtuvieron mayor precisión, y a los que se les asignó un número óptimo de secuencias menor, son los que presentan menor tasa de errores y completan las tareas en menos tiempo. Además, esto favorece que dichos usuarios sean capaces de completar más tareas. Por otro lado, se observa que las tareas propuestas que requieren de un número de selecciones menor (como la de publicar en Twitter) resultan más fáciles de completar que las que requieren de un número mayor de selecciones (como el envío de un email). En cuanto a la monitorización de la atención del usuario, se observa que la precisión obtenida durante la tarea de evaluación del umbral es muy elevada (superior al 87.5%) para todos los usuarios, excepto para U07 y U09 para los que la precisión baja al 60%. Finalmente, al incluir esta funcionalidad de monitorización de la atención del usuario (aplicación del umbral determinado para cada usuario) durante la sesión Eval-II se observa que disminuye el número de tareas completadas. Por un lado, esto puede deberse a que surge la posibilidad de que una selección correcta se entienda como no atendida (lo que se indica como un falso positivo). Aunque no se produzca un error como tal en la ejecución de un comando, esto sí que implica que el usuario ha de volver a realizar de nuevo la selección alargándose, por tanto, la tarea. Por otro lado, este menor rendimiento observado durante las tareas de Eval-II podría deberse no sólo a la aplicación del umbral sino también a la variabilidad inter-sesión del clasificador. Como se ha comentado previamente, para todos los usuarios se ha observado un rendimiento del clasificador muy variable a lo largo de las diferentes sesiones realizadas. Sin embargo, este hecho no se producía de forma evidente en poblaciones bajo estudio de trabajos previos donde la población era más heterogénea. Por lo tanto, esta variabilidad podría

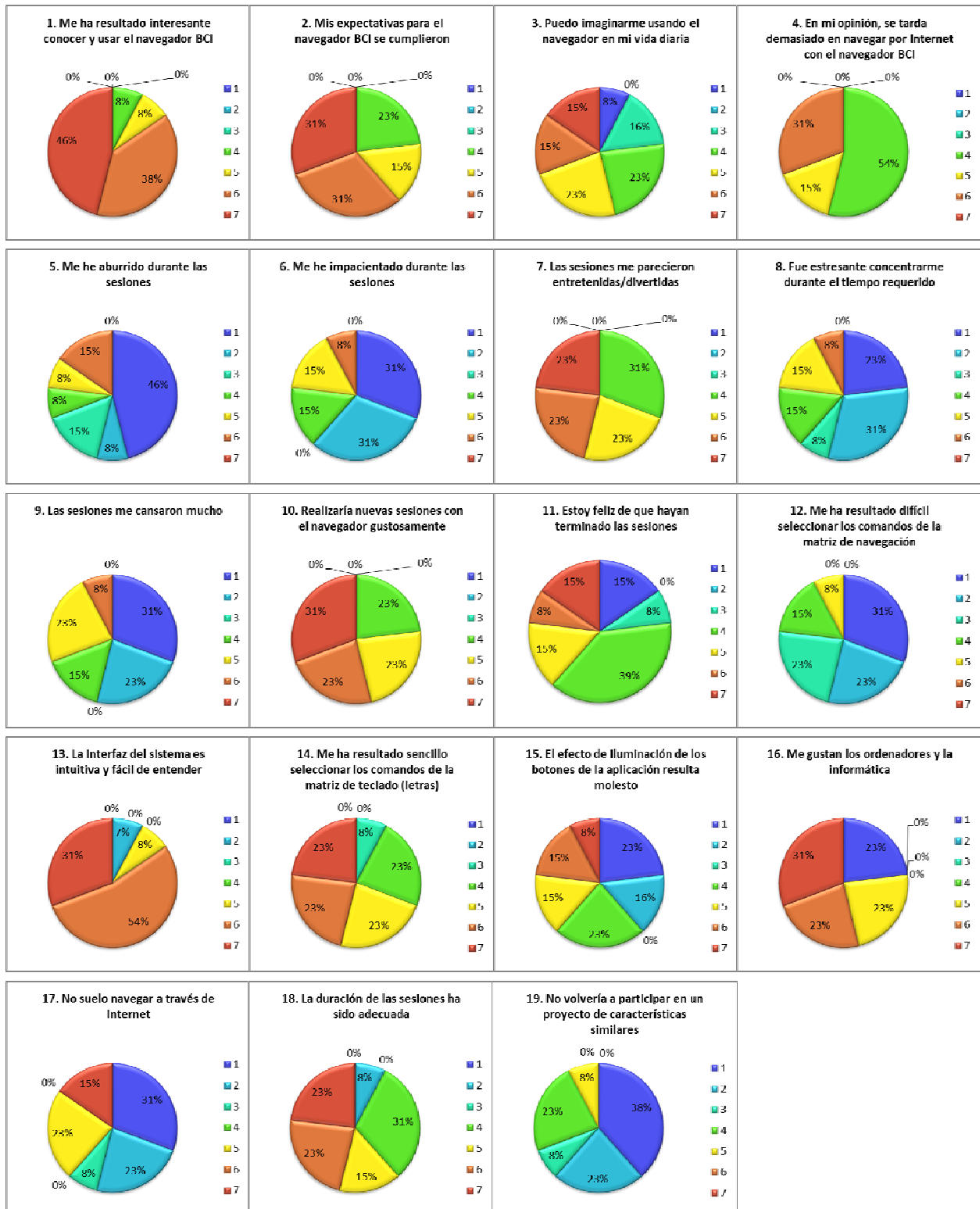


Figura 6. Distribución de las respuestas de los participantes en el estudio a cada una de las afirmaciones planteadas en el cuestionario de satisfacción.

ser debida a la enfermedad que presentaban todos los sujetos del presente estudio. Es decir, los resultados sugieren que los pacientes de esclerosis múltiple no presentan una respuesta estable a estímulos infrecuentes como los empleados en el paradigma *oddball*. Sin embargo, los trabajos y estudio previos presentes en la literatura sugieren que los sistemas BCI basados en P300 pueden ser controlados por personas con grave discapacidad, independientemente del grado de discapacidad que presenten. Por tanto, surge la necesidad de realizar futuros estudios que analicen en profundidad la respuesta P300 de estos pacientes en particular y permitan determinar si la variabilidad se produce en la amplitud, la latencia y/o la localización espacial de la respuesta evocada. De esta forma, se podrían adaptar tanto la etapa de procesado de señal como la de elaboración del clasificador a las características de la población bajo estudio superando así la limitación detectada.

Finalmente, en cuanto a la satisfacción de los usuarios, es posible afirmar que los participantes se mostraron bastante satisfechos con la aplicación propuesta para navegar por internet. De hecho, de media todas las afirmaciones positivas fueron puntuadas por encima del valor medio (puntuación media superior a 4); mientras que, por otro lado, de media las afirmaciones negativas se puntuaron por debajo del valor medio (puntuación media inferior a 4), excepto las cuestiones 4 y 11. En el caso de ambas cuestiones la puntuación media de los usuarios no fue inferior a 4 pero sí obtuvo un valor muy cercano (4.77 y 4.23, respectivamente). En el caso de la cuestión 4, esto indica que no todos los usuarios estuvieron totalmente de acuerdo en que es muy rápido navegar por Internet empleando la aplicación desarrollada. Sin embargo, también refleja que los usuarios no estuvieron totalmente de acuerdo en que se tarda demasiado en navegar a través de ella. En el caso de la cuestión 11, los usuarios manifestaron estar ligeramente de acuerdo con que se encontraban felices de que se hubieran terminado las sesiones de evaluación. Esto indica que su participación en el estudio les suponía un esfuerzo que debe tenerse siempre en cuenta a la hora de planificar y diseñar el contenido y duración de las sesiones. Por tanto, a partir de los resultados obtenidos en los cuestionarios se puede concluir que la característica mejor valorada por los usuarios fue la interfaz debido a su sencillez. Además, los participantes se mostraron satisfechos tras haber probado el navegador e indicaron que éste cumplió sus expectativas iniciales. En cuanto al aspecto peor valorado se encuentra la velocidad de la aplicación desarrollada, ya que muchos usuarios consideraron que se tardaba demasiado en navegar por Internet mediante la interfaz BCI. Evidentemente, una interfaz muscular permitiría seleccionar los comandos con mayor rapidez, pero el objetivo del proyecto consistía en validar la viabilidad de una interfaz cerebral de forma que el navegador fuera accesible a personas con discapacidad motora severa.

3. Describir las acciones de difusión y sostenibilidad del proyecto, aportando las evidencias oportunas.

El plan de difusión propuesto en la memoria de solicitud pretendía dar a conocer el proyecto: la aplicación desarrollada y los resultados alcanzados, tanto a nivel académico e investigador como a nivel social y empresarial. Por ello, a partir de los resultados preliminares del proyecto, se está preparando una comunicación que será enviada al VI Congreso Internacional de Diseño, Redes de Investigación y Tecnología para todos (DRT4ALL 2015). Se trata de un congreso de referencia en el ámbito de las tecnologías inclusivas y que organiza cada dos años la Fundación ONCE. Este año, el congreso tendrá lugar en Madrid, del 23 al 25 de septiembre. Además, se tratará de enviar una publicación a la revista “Tecnología, Ciencia y Educación” (SOCITEC) recogiendo los resultados preliminares del presente trabajo. Posteriormente, se pretende escribir un artículo con los resultados finales del presente proyecto. Dicho artículo se enviará a una revista especializada, como *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, *Medical & Biological Engineering & Computing* o *Computer Methods & Programs in Bioengineering*, todas ellas indexadas en el JCR (*Journal Citations Report*) del *Science Citation Index* (SCI) con un alto índice de impacto. Por otro lado, la aplicación desarrollada ha sido transferida al CRE-DyD, de forma que los usuarios del centro que presentan mayor grado de discapacidad se puedan beneficiar de sus ventajas. Además, a través del CRE-DyD se facilitará la divulgación de la investigación propuesta en el proyecto y sus resultados.

Además, para complementar las acciones de difusión del proyecto, se está editando un vídeo que describe el navegador web BCI desarrollado, mostrando tanto su funcionamiento como el proceso de evaluación por parte de los usuarios finales. Una vez finalizada la edición de dicho vídeo, éste será publicado en la página web del Grupo de Ingeniería Biomédica y difundido a los medios a través del gabinete de comunicación de la Universidad de Valladolid.

4. Indicar si se ha seguido la metodología de trabajo propuesta o ha habido alguna variación

La metodología propuesta en la solicitud del presente proyecto de investigación se ha seguido a lo largo del proyecto tal y como se había plantificado. Sin embargo, aunque en un principio se propuso la evaluación del navegador web BCI desarrollado en un grupo de 20 usuarios del CRE-DyD, finalmente el grupo experimental constó de 16 sujetos. Dicha variación se debe a dos motivos. Por un lado, se optó por evaluar la aplicación en un grupo homogéneo de

sujetos con la misma patología, de forma que los resultados y las conclusiones obtenidas pudieran ser más generalizables a un colectivo concreto de potenciales usuarios finales. Esto limita el número de participantes disponibles. Por otro lado, debido al reajuste en el presupuesto final respecto al solicitado, los desplazamientos hasta el CRE-DyD de León no siempre pudieron ajustarse a los horarios y necesidades de cada participante. Aun así, se trató de maximizar el número de usuarios participantes en el estudio respecto al número y duración de los desplazamientos realizados al CRE-DyD de León, con el objetivo de aprovechar de la forma más eficaz el presupuesto disponible para dichos desplazamientos.

5. Indicar los órganos de evaluación y seguimiento para la consecución de los objetivos fijados. Periodicidad prevista para el seguimiento e indicadores.

Por un lado, la ejecución económica del proyecto de investigación ha sido supervisada por el servicio de gestión administrativa de la investigación de la Fundación General de la Universidad de Valladolid. Por otro lado, la ejecución técnica ha sido coordinada por el investigador principal del proyecto: Roberto Hornero Sánchez. En cuanto a la ejecución temporal de las tareas del proyecto, éste se ha realizado tal y como se programó en la memoria de solicitud del proyecto. A continuación se presenta el cronograma llevado a cabo. Adicionalmente, se organizaron reuniones de coordinación periódicas entre los miembros del equipo investigador para garantizar la correcta ejecución del proyecto. De esta forma, fue posible coordinar y evaluar de forma periódica la consecución de los objetivos fijados al comienzo del proyecto de investigación.

TAREAS	Duración: 1 año (12 meses)
1. Estudio sistemas BCI basados en potenciales P300	
1.1. Estudio de métodos de procesado de señal de EEG	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
1.2. Desarrollo software de métodos de procesado del EEG	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
2. Estudio de herramientas de navegación web y creación de la población de estudio	
2.1. Selección de la población de estudio	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
2.2. Identificación de necesidades funcionales	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
3. Diseño e implementación de la aplicación BCI	
3.1. Traducción de necesidades funcionales. Interfaz gráfica	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
3.2. Implementación software del sistema BCI basado en P300	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
4. Evaluación de la aplicación por usuarios del CRE de León. Extracción de conclusiones	
4.1. Evaluación y grado de satisfacción del usuario	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
4.2. Interpretación de resultados y extracción de conclusiones	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
4.3. Difusión de los resultados	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
5. Coordinación del proyecto	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

6. Indicar si se han identificado nuevas necesidades para alcanzar los objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto consistía en diseñar, desarrollar y evaluar una aplicación de ayuda a la navegación Web controlada mediante BCI orientada a las personas con grave discapacidad. Para llevar a cabo ese objetivo principal, se fijaron varios objetivos específicos que han sido cumplidos y que se indican a continuación:

- Se estudiaron, seleccionaron e implementaron diferentes métodos que permiten detectar los potenciales P300 en la señal de EEG y seleccionar las características que aportan más información al clasificador.
- Con el asesoramiento de los neuropsicólogos del CRE-DyD, se formó un grupo de 16 sujetos con esclerosis múltiple, que participaron en la evaluación de la aplicación desarrollada.
- Se elaboró una base de datos de los registros EEG de los participantes. Dichos registros se corresponden con las tareas de calibración y evaluación propuestas durante la fase experimental del proyecto.
- Se desarrolló una aplicación BCI que permite navegar a través de Internet a partir de la actividad cerebral del usuario. La aplicación se diseñó en colaboración con el personal y usuarios del CRE-DyD e integra los métodos de detección de potenciales P300 seleccionados y una interfaz gráfica sencilla, funcional y eficiente.
- Se evaluó la eficacia y utilidad de la aplicación de navegación Web mediante varias sesiones experimentales realizadas por la población bajo estudio. A partir de las conclusiones extraídas de estos resultados, se han podido identificar las principales limitaciones de la aplicación y se han planteado las posibles líneas de trabajo futuro.
- Los resultados del proyecto están siendo difundidos mediante el envío de una comunicación a un congreso internacional. Además, se tratará de publicar los resultados más relevantes en una revista indexada en el JCR. La aplicación además, ha sido transferida al CRE-DyD, donde los usuarios del centro ya pueden beneficiarse de esta tecnología.

Por lo tanto, los objetivos propuestos al comienzo del proyecto han sido cumplidos en su totalidad. No obstante, puesto que se han detectado limitaciones en el empleo de sistemas BCI basados en P300 para el caso de pacientes con esclerosis múltiple, en trabajos futuros se analizará de forma exhaustiva cómo adaptar el paradigma *oddball* a este colectivo de sujetos en particular.

También se tratará de aumentar todo lo posible el tamaño de la población bajo estudio de forma que los resultados y las conclusiones obtenidas puedan ser más generalizables. Además, se pretende extender la aplicación desarrollada a pacientes con otras patologías. En concreto, se tratará de evaluar la aplicación desarrollada con pacientes de esclerosis lateral amiotrófica (ELA), ya que, dada las características de su enfermedad, podrían verse enormemente beneficiados del empleo de esta tecnología.

MEMORIA ECONÓMICA

JUSTIFICACIONES

- Material Fungible:

En esta partida se contabiliza el material que sufre un rápido deterioro y que requiere reposición. Algunos de los materiales que incluiríamos en esta partida son las grapadoras, folios, bolígrafos, correspondientes al material de oficina.

	Descripción	Justificación	Número de Artículos	Coste Unitario	Total Coste
			a	b	a x b
1	Consumibles Informáticos Mar Mansilla Toner	Se estima un importe de aplicación a este proyecto de 100 euros , ya que el toner comprado tiene por destino impresoras que se utilizan también para otros proyectos	2	237,90	475,80
			1	237,90	237,90
			1	237,90	237,90

- Dietas y Gastos de Viaje:

Propósito del Viaje:		Registros de nuevas señales EEG y pruebas con usuarios.					
Lugar de Destino		Arganda del Rey (Madrid)					
Nº Personas	1	(Cifra Total Personas)*	Roberto Hornero Sánchez				
Nº Días	3	(Cifra Total Días)*	16,20 y 23 de febrero de 2015				
Coste dietas diario	37,40 €	Coste Total Dietas y Viajes	112,20 €				
Precio Viaje	277,02 € (486 km x 0.19€ x 3)		277,02 €				
Total Costes (Dieta + Viaje)	(a x b x c) + (d x a)	(Cifra Total Costes)*	389,22 €				

Propósito del Viaje:			Registros de nuevas señales EEG y pruebas con usuarios		-----	-----	-----
Lugar de Destino			Madrid				
Nº Personas	1	(Cifra Total Personas)*	Roberto Hornero Sánchez				
Nº Días	3	(Cifra Total Días)*	5, 8 y 10 de noviembre de 2014				
Coste dietas diario	37,40 €	Coste Total Dietas y Viajes	112,20 €				
Precio Viaje	228,00 € (400 km x 0.19€ x 3)		228,00 €				
Total Costes (Dieta + Viaje)	(a x b x c) + (d x a)	(Cifra Total Costes)*	340,20 €				

Propósito del Viaje:			Registros de nuevas señales EEG y pruebas con usuarios.		-----	-----	-----
Lugar de Destino			Arganda del Rey (Madrid)				
Nº Personas	1	(Cifra Total Personas)*	Roberto Hornero Sánchez				
Nº Días	3	(Cifra Total Días)*	18, 22 y 29 de diciembre de 2014				
Coste dietas diario	37,40 €	Coste Total Dietas y Viajes	112,20 €				
Precio Viaje	277,02 € (486 km x 0.19€ x 3)		277,02 €				
Total Costes (Dieta + Viaje)	(a x b x c) + (d x a)	(Cifra Total Costes)*	389,22 €				

Propósito del Viaje:			Registros de nuevas señales EEG y pruebas con usuarios		-----	-----	-----
Lugar de Destino			San Andrés de Rabanedo (León)				
Nº Personas	1	(Cifra Total Personas)*	Roberto Hornero Sánchez				
Nº Días	3	(Cifra Total Días)*	22, 24 y 30 de noviembre de 2014				
Coste dietas diario	37,40 €	Coste Total Dietas y Viajes	112,20 €				
Precio Viaje	216,60 € (380 km x 0.19€ x 3)		216,60 €				
Total Costes (Dieta + Viaje)	(a x b x c) + (d x a)	(Cifra Total Costes)*	328,80 €				

Propósito del Viaje:			Registros de nuevas señales EEG y pruebas con usuarios		-----	-----	-----
Lugar de Destino			San Andrés de Rabanedo (León)				
Nº Personas	1	(Cifra Total Personas)*	Roberto Hornero Sánchez				
Nº Días	3	(Cifra Total Días)*	22, 24 y 26 de octubre de 2014				
Coste dietas diario	37,40 €	Coste Total Dietas y Viajes	112,20 €				
Precio Viaje	216,60 € (380 km x 0.19€ x 3)		216,60 €				
Total Costes (Dieta + Viaje)	(a x b x c) + (d x a)	(Cifra Total Costes)*	328,80 €				

Propósito del Viaje:			Registros de nuevas señales EEG y pruebas con usuarios		-----	-----	-----
Lugar de Destino			San Andrés de Rabanedo (León)				
Nº Personas	1	(Cifra Total Personas)*	Roberto Hornero Sánchez				
Nº Días	2	(Cifra Total Días)*	28 y 30 de octubre de 2014				
Coste dietas diario	37,40 €	Coste Total Dietas y Viajes	74,80 €				
Precio Viaje	144,40 € (380 km x 0.19€ x 2)		144,40 €				
Total Costes (Dieta + Viaje)	(a x b x c) + (d x a)	(Cifra Total Costes)*	219,20 €				

* Incluir la cifra.

Cantidad obtenida / prevista y Fuentes de financiación :

Costes Directos					Total Costes Directo	Costes Indirectos	Total Gastos Proyecto
C. Personal	C. Operacional					Total Costes Indirectos (No > 7%)	
G.Pers	Inventariable	Fungible	Viajes y Dietas	Otros Gastos			
%	0	5%	95%	0	100 %	-	100 %
Total	0	100,00 €	1.900,00 €	0	2.000,00 €	-	2.000,00 €

Ingresos	Otras Fuentes		Dotación Fundación Hergar	Total Ingresos
Financiación Propia	Subv. Publica	Privada		
%	-	-	100 %	100 %
Total	-	-	2.000,00 €	2.000,00 €

Firma del Investigados Principal



Fdo.: Roberto Hornero Sánchez

Sello de la entidad



En Valladolid, a 8 de abril de 2015