

# Propuesta de BCI basado en RSVP con número reducido de estímulos usando el modo de escritura T9

F. J. Vizcaíno-Martín, F. Velasco-Álvarez, Á. Fernández-Rodríguez, R. Ron Angevin

Dpto. de Tecnología Electrónica, Universidad de Málaga, Málaga, España, {fjvizcaino, fvelasco, afernandezrguez, rron}@uma.es

## Resumen

*Se propone un sistema de comunicación para personas con severas deficiencias motoras, como pacientes afectados de esclerosis lateral amiotrófica, usando una interfaz cerebro computadora. El sistema se basa en el paradigma Rapid Serial Visual Presentation que tiene la ventaja de no requerir control oculomotor. Para reducir el tiempo de escritura, hace uso de solo 12 estímulos, es decir, aproximadamente la mitad de los estímulos que usan sistemas para escritura con interfaces cerebro-computadora tradicionales. De forma similar a los sistemas de escritura con teclados predictivos T9, cada estímulo se asoció con varios caracteres por lo que el sistema es soportado por un programa de análisis de palabras para componer la palabra final deseada de entre las posibles alternativas en función de los estímulos seleccionados. El sistema propuesto se ha comparado con un sistema de escritura tradicional de 30 estímulos usando el mismo paradigma de presentación de estímulos. Los resultados obtenidos, aunque con pruebas realizadas sobre un solo usuario sano y, por tanto, muy preliminar, han permitido comprobar la viabilidad del sistema, verificándose que, efectivamente, esa reducción del número de estímulos mejora las prestaciones del sistema de escritura llegándose a doblar su velocidad. Como contrapartida, el sistema propuesto requiere un entrenamiento para su uso al tener que agrupar diferentes caracteres con cada estímulo presentado, pero la propuesta de agrupación realizada permite pensar que el tiempo de aprendizaje será reducido.*

## 1. Introducción

Personas con graves deficiencias en sus funciones motoras, como por ejemplo pacientes que sufren de esclerosis lateral amiotrófica (ELA), esclerosis múltiple, isquemia o parálisis cerebral, pueden tener enormes impedimentos para la comunicación con otras personas y con el entorno. Para estos casos, dotarles de un medio para comunicarse puede mejorar de forma significativa su apreciación de su calidad de vida [1]. Las interfaces cerebro-ordenador (BCI, de *brain-computer interface*), que usan la electroencefalografía (EEG) como técnica de registro de señales de entrada, se han postulado como el medio más versátil posible para establecer ese canal de comunicación [2]. Mediante estos sistemas y provocando la estimulación apropiada del usuario, se puede conseguir modular los potenciales de las señales EEG del cerebro, potenciales relacionados con eventos (ERP, de *event-related potential*) y, como consecuencia, codificar esas variaciones para controlar la respuesta del sistema [3].

De estos potenciales, destaca la componente P300, que ocurre en el cerebro humano como una desviación positiva

sobre el potencial base con una latencia de 300 ms después de que haya ocurrido un evento específico [4-5].

Una gran parte de los diferentes sistemas BCI para comunicación y control desarrollados usan la componente P300 de los ERP generada a través del paradigma *oddball*, presentación de estímulos al usuario de forma aleatoria entre los que el usuario debe prestar atención al deseado (objetivo), poco frecuente, en comparación con el total de estímulos presentados [5]. La principal diferencia entre ellos es la forma de presentar los estímulos al usuario, destacándose dos paradigmas: el paradigma fila-columna (RCP, de *row-column paradigm*) y el de presentación visual serial rápida (RSVP, de *rapid serial visual presentation*). En el primero, los estímulos se distribuyen de forma matricial ocupando la mayor parte de la pantalla de presentación y, en el segundo, los estímulos se presentan de uno en uno de forma consecutiva en el centro de la pantalla. Entre ellos, el paradigma RSVP es el más indicado para pacientes que tienen limitación a la hora de poder dirigir su mirada por tener reducida su capacidad de movimiento ocular [6]; su principal desventaja es el mayor tiempo requerido para seleccionar un carácter (estímulo) entre los presentados ya que, para cada selección, es necesario mostrar, uno detrás de otro, cada uno de los caracteres que forman el alfabeto.

Diferentes propuestas se han desarrollado para mejorar las prestaciones de los sistemas BCI para escritura. Dichas propuestas están enfocadas, principalmente, en diferentes modos de presentar los estímulos y en el número de estímulos empleados usando como base alguno de los dos paradigmas indicados [7]. Usando el paradigma RCP, en [8] se puso a prueba sobre un paciente con ELA el uso de una matriz reducida de 4×3 similar a la interfaz T9 desarrollada para teléfonos móviles. Hasta nuestro conocimiento, no se ha propuesto ningún sistema RSVP usando 12 estímulos seleccionables en un formato análogo al T9.

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de un teclado virtual basado en el paradigma RSVP con un número reducido de estímulos, 12, con el fin de aumentar la velocidad de escritura. La propuesta se comparará con otro teclado virtual convencional también basado en el paradigma RSVP y que incluirá 30 estímulos, similar al propuesto en [6], pero contemplando todos los caracteres alfabéticos del español.

## 2. Método

### 2.1. Participantes

La finalidad de este trabajo era comparar las prestaciones del sistema propuesto con un sistema de escritura RSVP que use todas las letras del alfabeto español. Este trabajo es un estudio preliminar en el que ha participado una persona sana (60 años, hombre, con experiencia previa en el manejo de sistemas BCI), permitiendo, de este modo, analizar la viabilidad de la propuesta presentada.

### 2.2. Adquisición de datos y procesamiento de la señal

Para la adquisición y amplificación de las señales del EEG se usó un amplificador acti-CHamp de BrainVision (Brain Products GmbH, Gilching, Alemania). Se usaron 9 electrodos para 8 canales en las posiciones Fz, Cz, Pz, Oz, P3, P4, PO7 y PO8, y el noveno conectado a tierra en la posición AFz, según el sistema internacional 10/10. Todos los canales se referenciaron al mastoide izquierdo. La frecuencia de muestreo fue de 250 Hz y las señales fueron procesadas mediante filtros banda eliminada de 50Hz, paso alto de 0.1 Hz y paso bajo de 9 Hz. Para el procesamiento de los datos del EEG se usó el software BCI2000 [9]. Dicho software empleó el análisis lineal discriminante de pasos sucesivos (SWLDA, de *stepwise linear discriminant analysis*) de los datos obtenidos a través del EEG para crear el clasificador que permitiría realizar la selección de caracteres en la fase online.

### 2.3. Implementación del sistema

El objetivo del sistema propuesto era dar la posibilidad a un paciente de suministrar a un ordenador las palabras o frases que desee que el ordenador, mediante una interfaz de audio, transmita a un posible destinatario, consiguiendo, por tanto, una comunicación “oral” entre el paciente y su interlocutor.

Para ello, se usó un ordenador HP Laptop con procesador Intel®Core™ i5-1035G1 CPU@1.00GHz 1.20 GHz, con RAM instalada: 16.6 GB. Sistema Operativo de 64 bits y Windows 11, conectado a través de HDMI con un monitor Lenovo C24-20, conectada a Intel®UHD Graphics 630, con resolución de 1920×1080 a 59.94 Hz y 8 bits de profundidad, donde se presentaron los estímulos que visualizaría el usuario.

En el ordenador se ejecutaban, por un lado, programas desarrollados en Python que permitían gestionar los caracteres seleccionados y sugerir, a partir de ellos, la palabra más probable, realimentando al usuario, a través de una interfaz de audio, los resultados obtenidos. Por otro lado, se ejecutaba UMA-BCI Speller [10] para la presentación de los estímulos según el paradigma RSVP y la llamada a BCI2000, para registrar y analizar las señales EEG generadas.

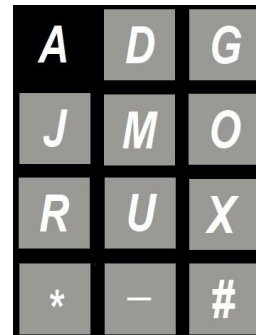
Las palabras más probables se obtienen usando el corpus de palabras en español de la Real Academia de la Lengua Española (RAE), CREA\_total [11].

### 2.4. Paradigma de control

Para el proceso de escritura de una palabra o frase con el sistema, los usuarios tenían que seleccionar los caracteres

apropiados de entre los mostrados en la pantalla. Estos aparecen en la pantalla siguiendo un paradigma RSVP.

Siguiendo un modelo inspirado en el teclado T9, donde cada número lleva asociado una serie de caracteres alfabéticos que se pueden seleccionar pulsando repetidamente la tecla correspondiente, nueve de los caracteres del teclado del sistema propuesto presentaban triple funcionalidad. Así, el sistema propuesto, al que llamamos *RSVP-T9 Modificado (RT9M)*, usa 12 elementos o caracteres a seleccionar. Estos elementos son: “A”, “D”, “G”, “J”, “M”, “O”, “R”, “U”, “X”, “\*”, “\_” y “#” (figura 1). Los caracteres alfabéticos permiten al usuario seleccionar la terna de caracteres formados por el carácter mostrado y los dos siguientes en orden alfabético (“A”→ABC, “D”→DEF, “G”→GHI, “J”→JKL, “M”→MÑ, “O”→OPQ, “R”→RST, “U”→UVW, “X”→XYZ); por otro lado, los símbolos “\*”, “\_” y “#” dan la posibilidad al usuario de finalizar la escritura (“\*”), añadir un espaciador de palabras en la frase (“\_”) o borrar el carácter previo introducido, si se ha cometido error, o seleccionar la palabra correcta de entre las propuestas por los programas de análisis de palabras (“#”).



A	D	G
J	M	O
R	U	X
*	-	#

**Figura 1:** Representación matricial (4×3) de los 12 elementos que se usan en el sistema propuesto, RT9M.

Para seleccionar un elemento del conjunto, los usuarios tenían que prestar atención al elemento deseado (p. ej., el elemento “A” para seleccionar alguno de los caracteres A, B o C) según aparecía en pantalla y contar mentalmente el número de veces que aparece en cada bloque de selección, que estará determinado por el número de secuencias que se estimen necesarias después del proceso de calibración.

El paradigma RSVP se configuró para que cada carácter se presentara en el centro de la pantalla durante un tiempo de 192 ms y el tiempo entre estímulos (carácter) consecutivos fuera de 96 ms. Antes de cada secuencia, la pantalla permanece en negro por un tiempo de 3968 ms.

Para evaluar comparativamente las prestaciones del sistema propuesto, se desarrolló otro sistema similar en el que se contempla la presentación del alfabeto español completo, desde la A hasta la Z, incluyendo la Ñ, y los mismos tres símbolos de control de finalización de escritura (“\*”), espaciado de palabras en la frase (“\_”) y borrado (“#”), con un total de 30 elementos. A este sistema lo llamaremos *RSVP Tradicional Modificado (RTrM)*.

En ambos sistemas, los estímulos se presentaron al usuario en el mismo formato, tamaño y color: *Arial Bold* 300; 600×600 píxeles, fondo negro y carácter en blanco.

## 2.5. Procedimiento

Se habilitó una sala aislada con una mesa donde se instaló la instrumentación y equipos necesarios. El usuario se sentó cómodamente en una silla frente a la mesa a una distancia de 60 cm de la pantalla donde se presentaron los estímulos.

Antes de comenzar los experimentos se procedió a la instalación y configuración de la instrumentación y se colocó apropiadamente el gorro con sus electrodos en la cabeza del usuario, al que se le informó del proceso que debía seguir, que variaba entre la fase de calibración y la fase online, fases que se llevaron a cabo independientemente para cada sistema.

En la fase de calibración, similar para cada sistema, el usuario tenía que prestar atención a un total de 18 caracteres, agrupados en tres conjuntos de 6 caracteres: “AJR\*\_#”, “DMU\_\*#” y “GOX#\_\*”. Se emplearon 6 secuencias para cada grupo de caracteres, lo que quiere decir que cada carácter aparece en el centro de la pantalla 6 veces para cada grupo. Los tiempos empleados en la calibración se muestran en la tabla 1, donde se observa que el tiempo para la calibración en el sistema tradicional duplicó el tiempo empleado en la calibración del sistema propuesto. La exactitud indicada por el clasificador permitió seleccionar el número de secuencias que, posteriormente, se usaron en la fase online.

Sistema	Tiempo (minutos)
<i>RT9M</i>	9:30
<i>RTrM</i>	18:55

**Tabla 1.** Tiempo empleado en la calibración con cada sistema.

Durante la fase online, que se realizó en dos pasos, se solicitó al usuario, en el primer paso, que escribiera, tres textos cortos: dos palabras sueltas, “HOLA” y “AYUDA”, y una combinación de dos palabras, “POR FAVOR”. En un segundo paso, se solicitó la escritura de un texto largo: “EXPERIMENTO EN LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA”.

Para escribir un texto con cualquiera de los dos sistemas, se deben seleccionar los caracteres que componen el texto, deletreándolo convenientemente. En el sistema *RTrM*, el usuario únicamente debe saber deletrear las palabras usadas. En el sistema *RT9M*, el usuario debe saber deletrear las palabras y, además, conocer las letras asociadas a cada uno de los estímulos presentados por el sistema. Así, para poder escribir, por ejemplo, “HOLA” en el sistema *RT9M* se deben seleccionar los estímulos: “G” (GHI), “O” (OPQ), “J” (JKL), “A” (ABC), “\_”, “#” y “\*”. “G”, “O”, “J” y “A” corresponden a las selecciones a realizar para la palabra “HOLA”, “\_”, para indicar fin de palabra o espaciado si hubiese más palabras en el texto a escribir. Una vez finalizada la palabra, el sistema propone, y se lo indica al usuario a través de la interfaz de audio, la palabra más probable listada en el corpus de palabras de la

RAE empleado. Sucede que, para esta palabra, la palabra más probable es “HOJA”, por lo que, para elegir la siguiente más probable habrá que seleccionar como siguiente carácter “#”. Finalmente habrá que seleccionar “\*”, para indicar que se ha terminado la escritura del texto. Una vez finalizada la escritura del texto, el sistema transmitirá, a través de la interfaz de audio, el texto final escrito, “HOLA” en este caso, al usuario.

Para comparar los dos sistemas de escritura mediante RSVP sin que sea necesario que el usuario tenga un dominio de los diferentes caracteres que pueden escribirse con cada estímulo presentado en el sistema propuesto, se ha ideado que los programas de gestión de las palabras a escribir indiquen al usuario la selección de estímulos que debe hacer en cada momento. Así, estos programas desarrollados en Python, una vez conocida la palabra o frase que el usuario debiera escribir en la fase online, indicándosela al principio de su ejecución, le va diciendo al usuario, también mediante la interfaz de audio, qué estímulo debe seleccionar en cada momento, ya sea una letra o un símbolo de espaciado, fin de texto o borrado, ya que el sistema testea si el estímulo seleccionado es el correcto.

El experimento tuvo una duración total de alrededor de 103 minutos, con intervalos de descanso de 3 minutos entre calibración y cada paso de la fase online.

## 3. Resultados

En la fase de calibración el usuario alcanzó el 100% de *accuracy* con un máximo de 3 secuencias para los dos sistemas, por lo que se decidió realizar la fase online con solo tres secuencias por bloque.

En la fase online, el usuario no cometió ningún error de escritura con ninguno de los dos sistemas ni con ninguna de las tres secuencias de palabras en el primer paso de esta fase, empleándose los tiempos de escritura que se muestran en la tabla 2. Obsérvese que, para escribir la palabra “HOLA” en el sistema *RT9M*, hay que seleccionar 7 estímulos, ya que obliga a seleccionar la segunda palabra más probable propuesta por el sistema de análisis de palabras, por eso se tarda el mismo tiempo en escribir “HOLA” que “AYUDA”, para la que también hay que seleccionar 7 estímulos (cinco letras, “\_” y “\*”). Los tiempos obtenidos con el sistema *RT9M* están entre el 65.38% y el 54.9% de los tiempos obtenidos con el sistema *RTrM*.

Sistema	Tiempo (minutos)		
	“Hola”	“Ayuda”	“Por favor”
<i>RT9M</i>	2:16	2:16	3:30
<i>RTrM</i>	3:28	4:06	6:25

**Tabla 2.** Tiempos en minutos empleados por cada sistema en la escritura de los textos: “Hola”, “Ayuda” y “Por favor”.

En el segundo paso, relativo a la escritura de la frase larga (“EXPERIMENTO EN LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA”, 41 caracteres = 39 de la frase, “\_” y “\*”), el

usuario cometió 5 errores con el sistema *RTrM* y 2 errores con el sistema *RT9M*. La tabla 3 indica los tiempos empleados en la escritura de la frase por los dos sistemas, teniendo en cuenta que, con el sistema *RTrM* hubo que escribir 51 caracteres al cometer 5 errores y, con el sistema *RT9M*, solo se tuvieron que escribir 45 caracteres, ya que solo se cometieron 2 errores (dos caracteres adicionales por cada error, “#”, borrar, y otra vez el carácter deseado).

Sistema	Tiempo (minutos)
	“Experimento en la Universidad de MÁLAGA”
<i>RT9M</i>	2 errores → 13:55 minutos
<i>RTrM</i>	5 errores → 28:24 minutos

**Tabla 3.** *Tiempos en minutos empleados por cada sistema en la escritura de la frase larga: “Experimento en la Universidad de MÁLAGA”.*

En este segundo paso se observa que el tiempo empleado con el sistema *RT9M* es el 49% del empleado con el sistema *RTrM*.

La velocidad de escritura del sistema propuesto (*RT9M*) fue considerablemente más alta que la del sistema tradicional (*RTrM*). Asimismo, la ventaja del *RT9M* parece mayor conforme más caracteres se pretenden escribir, llegándose a reducir los tiempos de escritura a más de la mitad.

#### 4. Discusión y conclusiones

En este trabajo se ha presentado un procedimiento que permite reducir el número de estímulos a mostrar al usuario para su selección en un método de escritura mediante BCI siguiendo el paradigma RSVP. Con ello, se pretendía reducir el tiempo de escritura en comparación con otros métodos disponibles. Aunque las pruebas se han limitado a un solo usuario, este primer análisis de resultados ha permitido observar que esta reducción de estímulos consigue un aumento en la velocidad de escritura de casi el doble con respecto al tradicional de 30 estímulos, donde se alcanzan ratios de 1.43 símbolos/minuto [6], frente a los 2.87 símbolos/minuto que se llegan a alcanzar con el procedimiento propuesto. Se observa también que la ventaja es mayor en la escritura de textos largos. Esto se puede deber a dos motivos principales, la fatiga creciente del usuario conforme usa el sistema y el hecho de que el sistema tradicional, al tener que presentar más estímulos, alargando el proceso de selección, es más fatigoso y cansado para el usuario y, por tanto, más propenso a errores. No obstante, el sistema propuesto tiene la contrapartida de que el usuario debe aprender a asociar los estímulos seleccionados con los posibles caracteres que puede escribir con los mismos. Por tanto, puede ser potencialmente más propenso a errores de escritura si no se invierte el tiempo de entrenamiento necesario que permita un manejo ágil del sistema. Asimismo, sería conveniente que futuros trabajos verificaran los resultados obtenidos con más usuarios, incluyendo los potenciales objetivos de este tipo de

sistemas: pacientes con severas limitaciones motoras. Estos estudios debieran evaluar profundamente la usabilidad de estos sistemas para ofrecer unos resultados más concluyentes sobre la apreciación que los usuarios tienen sobre ellos y sus posibilidades de uso.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado conjuntamente por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del proyecto SICODIS, referencia: PID2021-127261OB-I00 y por la Universidad de Málaga.

#### Referencias

- [1] A. Londral, A. Pinto, S. Pinto, L. Azevedo and M. De Carvalho, "Quality of life in amyotrophic lateral sclerosis patients and caregivers. doi:10.1002/mus.24659. Epub 2015 Jun 30. PMID:25808635.
- [2] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan, "Brain-computer interfaces for communication and control," *Clin. Neurophysiol.*, 2002 Jun; 113(6): 767-91. doi: 10.1016/s1388-2457(02)00057-3 PMID: 12048038.
- [3] A. Kübler, "The history of BCI: From a vision for the future to real support for personhood in people with locked-in syndrome", *Neuroethics* 13, 163-180 (2020), <https://doi.org/10.1007/s12152-019-09409-4>.
- [4] R.F. Helfrich and R.T. Knight, "Cognitive neurophysiology: Event Related potentials", *Handb Clin Neurol*, 2019; 160:543-558. doi: 10.1016/B978-0-444-64032-1.00036-9. PMID:31277875.
- [5] L.A. Farwell, E. Donchin, "Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials", *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1988 Dec;70(6): 510-23. doi: 10.1016/0013-4694(88)90149-6. PMID: 2461285.
- [6] L. Acqualagna, B. Blankertz, "Gaze-independent BCI-spelling using rapid serial visual presentation (RSVP)", *Clinical Neurophysiology*, Volume 124, Issue 5, 2013, Pages 901-908, ISSN 1388-2457, <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2012.12.050>.
- [7] A. Rezeika, M. Benda, P. Stawicki, F. Gembler, A. Sabour and I. Volosyak (2018), "Brain-Computer Interface Spellers: A Review", *Brain Sciences*. 8. 57. 10.3390/brainsci8040057.
- [8] R. Ron-Angevin, S. Varona-Moya, L. da Silva-Sauer, "Initial test of a T9-like P300-based speller by an ALS patient", *J Neural Eng.* 2015 Aug;12(4):046023. doi: 10.1088/1741-2560/12/4/046023. Epub 2015 Jun 17. PMID: 26083683.
- [9] G. Schalk, D.J. McFarland, T. Hinterberger, N. Birbaumer and J.R. Wolpaw. 2004, "BCI2000: A general-purpose brain-computer interface (BCI) system", *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 51 1034-43.
- [10] F. Velasco-Álvarez, S. Sancha-Ros, E. García-Garaluz, Á. Fernández-Rodríguez, M. T. T. Medina-Juliá, and R. Ron-Angevin, "UMA-BCI Speller: an Easily Configurable P300 Speller Tool for End Users," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 172, pp. 127–138, 2019.
- [11] Real Academia Española. Corpus de Referencia del Español Actual (CREA) – Listado de Frecuencias. Lista total de frecuencias. Recurso en línea disponible en: <http://corpus.rae.es/lfrecuencias.html>. Fecha de consulta: 13/07/2023.