

# IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE MONITOREO DE EVENTOS FISIOLÓGICOS ASOCIADOS A UN PROCESO COGNITIVO CON DISTRACTORES EMOCIONALES

---

**Blanca Tovar Corona, Laura Ivoone Garay Jiménez,  
Gabriel Sepúlveda Cervantes, Mario Eduardo Rivero Ángeles**

Instituto Politécnico Nacional, México

[bltovar@ipn.mx](mailto:bltovar@ipn.mx), [lgaray@ipn.mx](mailto:lgaray@ipn.mx), [gsepulvedac@ipn.mx](mailto:gsepulvedac@ipn.mx), [mriveroa@ipn.mx](mailto:mriveroa@ipn.mx)

<https://doi.org/10.3926/oms.411.4>

Tovar Corona, B., Garay Jiménez, L. I., Sepúlveda Cervantes, G., & Rivero Ángeles, M. E. (2022). Implementación de sistemas de monitoreo de eventos fisiológicos asociados a un proceso cognitivo con distractores emocionales. En M. A. Ramírez Salinas, L. N. Oliva Moreno, L. I. Garay Jimenez y P. Gomez Miranda (Ed.), *Avances 2022: Red de Investigación Computación del Instituto Politécnico Nacional, México* (pp. 61-77). Barcelona, España: OmniaScience.

## Resumen

En este proyecto interdisciplinario se implementaron diseños propios de sistemas de registro de señales fisiológicas con el objetivo de crear una red de sensores portátiles que permitan el monitoreo de la respuesta fisiológica ante estímulos conocidos en un proceso cognitivo observando principalmente el efecto en la atención y las emociones. Estas señales son: 1) actividad eléctrica del cerebro, medida a través de electroencefalografía, 2) Actividad electrodérmica, medida a través de la respuesta galvánica de la piel, y 3) Frecuencia cardiaca, medida a través de fotoplethismografía. Se generó la infraestructura para la medición simultánea de hasta 8 canales unipolares de señal electroencefalográfica. Este es un sistema portátil modular en el que se puede usar desde un canal hasta 8. Se desarrolló el software para el registro y almacenamiento de las señales. Se diseñó e implementó una pulsera para la medición continua de la actividad electrodérmica y la frecuencia cardiaca. Ambas señales se registran y transmiten inalámbricamente de forma continua usando Bluetooth. Se generó el software para el registro, transmisión, almacenamiento y análisis visual de la señal, así como el sistema para la generación de la base de datos. Con estas herramientas en conjunto con el software de aplicación de pruebas neurocognitivas y productos generados en proyectos previos, se realizaron pruebas piloto para la evaluación del equipo desarrollado.

## Palabras clave

Electroencefalografía, electrodermia, frecuencia cardiaca, emociones, distractores auditivos.

## 1. Introducción

La medición de señales fisiológicas en el estudio de los procesos de enseñanza-aprendizaje permiten evaluar el efecto de los estímulos de una manera cuantitativa, que de otra manera tendrían que ser cualitativos; sobre todo en lo que respecta a las emociones, ya que, sin tener información del estado fisiológico de las personas, dependemos de una apreciación subjetiva del mismo individuo. Sin embargo, en los últimos años, el interés en cuantificar o estimar las emociones en diferentes ámbitos del ser humano ha aumentado y gracias a los avances en la ciencia y tecnología, es posible tener sensores y equipos de medición que permiten registrar y almacenar las señales para ser procesadas y extraer parámetros que pueden ser relacionados con los estímulos y así conocer su efecto. Este capítulo describe la metodología y resultados de la continuidad llevada a través de los proyectos SIP20172248, SIP20172260, SIP20181719, SIP 20196196 y SIP 20200839, en los cuales se ha desarrollado la infraestructura, tanto en hardware como en software para el registro y análisis de señales fisiológicas que proporcionan información sobre estrés y estados emocionales, así como su relación con la atención en procesos cognitivos bajo diferentes estímulos. Este capítulo se centra en la adquisición de datos de sujetos sanos para medir su señal electroencefalográfica (EEG), utilizando equipo propio, así como, simultáneamente, registrar señales fisiológicas con la pulsera E4 de Empática, de las cuales se analizan la actividad electrodérmica o EDA (por sus siglas en inglés, Electrodermic Activity) y la frecuencia cardíaca o HR (por sus siglas en inglés, Heart Rate). Se presenta el protocolo de registro que se llevó a cabo, así como los criterios de inclusión para la selección de los sujetos de estudio. Se describe la base de datos de estímulos auditivos utilizados y se muestra la metodología de adquisición de las señales, el diseño de equipo propio y las técnicas de procesamiento de señales digitales para la limpieza y extracción de características que permitan encontrar las relaciones de estímulos auditivos que provocan emociones y su relación con la atención.

Trabajos previos muestran que las emociones afectan los procesos de aprendizaje, tal es el caso de M. Chaouachi y C. Frasson [1], quienes utilizan la señal EEG para cuantificar su efecto y concluyen que las emociones “positivas” amplían el alcance de la atención y mejoran la recuperación de la memoria, los niveles de motivación, así como también la capacidad de resolución de problemas. Otros trabajos utilizan además señales de imagenología durante procesos de aprendizaje midiendo atención y concentración con lo que se corrobora la actividad eléctrica asociada a esos eventos [2-5]. Aunque la combinación de es-

tas técnicas no es viable para seguimiento en condiciones fuera del laboratorio, sirven como referencia para avanzar en el análisis de las señales que se registran de manera no invasiva.

Otros trabajos muestran la utilidad de sistemas neurofeedback para promover estados de atención [6], manejar el dolor [7] y lograr diferentes estados mentales como relajación y concentración [8]. Todos ellos utilizan la señal EEG para cuantificar los resultados. Los estímulos utilizados en [9] fueron elegidos para promover emociones y comprobar su efecto en las variables a medir. Los autores demuestran que es posible utilizar las señales EEG para clasificar emociones en el plano bidimensional de valencia y activación propuesto por Russell, y destacan la importancia de personalizar los sistemas para mejorar la exactitud en la clasificación. Este modelo ha sido utilizado en diferentes trabajos demostrando su utilidad. Sin embargo, se hace énfasis en que las diferencias culturales y de idioma afectan la forma de categorizar las emociones, por lo tanto, un grupo de estímulos podrían ser catalogados de diferente manera en culturas diferentes [10]. Es por ello por lo que en este trabajo se reporta la categorización de los sonidos según la percepción de los sujetos que participaron en el protocolo, comprobando que sí existen diferencias.

## 2. Metodología

Se desarrolló equipo de registro de EEG, EDA y HR, se caracterizó y se diseñó un protocolo de prueba que permitiera evaluar las señales propuestas para el monitoreo de los eventos fisiológicos durante un proceso cognitivo, comparando estados con estímulo y sin estímulo en una tarea que implica atención utilizando distractores auditivos. Para ver el efecto de los estímulos distractores auditivos se utilizó la base de datos IADS (International Affective Digital Sounds) [11], la cual fue desarrollada y distribuida por el Centro de Emoción y Atención de la Universidad de Florida, con el fin de generar materiales estandarizados. Cuenta con 167 sonidos, los cuales fueron calificados por al menos 100 personas de ambos géneros, utilizando una herramienta para medir las emociones: el modelo de autoevaluación del maniquí (SAM por sus siglas en inglés), que es una evaluación gráfica no verbal que permite medir directamente el placer(valencia), intensidad(activación) y control (dominancia) asociadas a una reacción afectiva en las personas con una amplia variedad de estímulo, el cual se muestra en la Figura 1.

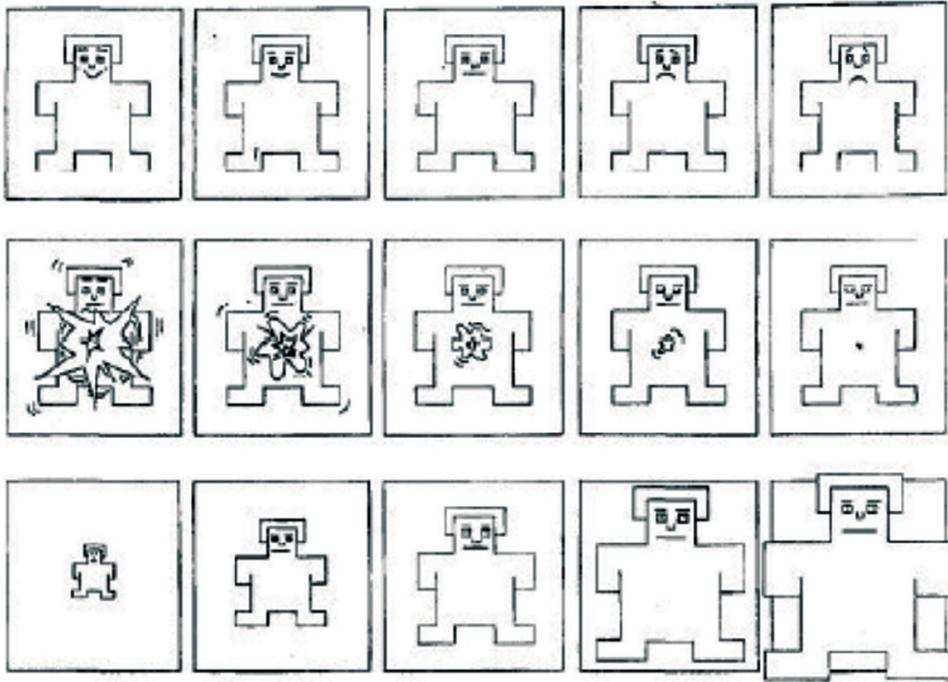


Figura 1. El Modelo de Autoevaluación del maniquí usado para calificar la dimensión afectiva de valencia (panel superior), activación (panel intermedio) y dominio (panel inferior). Tomada de [12]

Las emociones son mapeadas como puntos en un plano bidimensional o tridimensional según se requiera, de acuerdo con modelo circuplejo de Russell [13], el cual se muestra en la Figura 2. Las emociones son representadas en cuatro cuadrantes, denotados con Q1, Q2, Q3 y Q4, los cuales agrupan un conjunto de emociones, las cuales se mencionan en la Tabla 1. Los valores asignados son del 1 al 9 en donde el 5 representa un estado neutro, el 1, muy desagradable o muy desactivado y el 9 muy activado o muy agradable, para valencia y activación, respectivamente.

### 2.1. Sistema de medición de la señal EEG

Para llevar a cabo el registro de las señales fisiológicas se utilizó un electrocardiógrafo de 7 canales modulares, diseñado como parte de los objetivos del proyecto SIP20181719 y modificado durante el proyecto SIP20196196, el cual permite



Figura 2. Modelo circumplejo de Russell, basado en valencia (eje horizontal) y activación (eje vertical), con la asignación de cuadrante asociado. Traducido y modificado de [14]

Cuadrante	Activación	Valencia	Dominancia	Emociones asociadas
Q1	$A > 5$	$V > 5$	–	Feliz, eufórico, emocionado y alerta
Q2	$A < 5$	$V > 5$	–	Satisfecho, sereno, calmado y relajado
Q3	$A < 5$	$V < 5$	–	Aburrido, deprimido y triste
Q4	$A > 5$	$V < 5$	–	Tenso, nervioso, estresado y enojado

Tabla 1. Relación entre el plano circumplejo de Russell bidimensional con los cuadrantes asignados.



*Figura 3. Módulo de registro de EEG*

utilizar de 1 hasta 8 módulos para el registro de EEG. Este sistema consta de un filtro pasa-banda 0.5 a 50 Hz, filtro Notch a 60 Hz, amplificación fija de 110000 con un consumo de corriente en el rango de 25.7mA a 34.8mA. Cada módulo se alimenta con dos baterías de 9 V para generar un voltaje de alimentación de +/-9V. Como se observa en la Figura 3, el módulo consta de una tarjeta PCB en montaje superficial con dimensiones de 4.5x4 cm.

Se utilizaron electrodos de copa de oro en configuración unipolar, con referencia en las apófisis mastoides, en las posiciones F3, T3, C3, FP1, T4, C4 y F4, de acuerdo con el sistema estándar de medición 10-20. Se utilizó gel Nuprep® para limpiar la piel, y pasta conductora Ten20® como interfaz electrodo-piel en el cuero cabelludo. Además, se utilizaron dos mallas tubulares para mantener los electrodos fijos. Se utilizó una tarjeta de adquisición de National Instruments NI-USB-6008 con una resolución de 16 bits, una tasa de 256 muestras por segundo y se implementó una interfaz de usuario en LabView para visualizar en tiempo real y almacenar los datos [15].

## ***2.2. Sistema de medición de las señales EDA y HR***

Para el registro de las señales EDA y HR se utilizó la pulsera Wristband E4 de Empatica®, certificada por la FDA como de grado médico. Aunque esta pulsera registra también la temperatura y el movimiento, estas dos variables no

se analizaron en este estudio ya que, el equipo propio cuenta solo con las dos variables mencionadas. La pulsera se colocó en la mano no dominante para dejar libre la otra mano y así evitar los artefactos de movimiento debidos a la manipulación del mouse de la computadora durante las actividades requeridas en el protocolo.

### ***2.3. Protocolo de registro***

- a) Sujetos de estudio: se contó con la participación de 25 sujetos voluntarios con edades entre 18 y 40 años, 10 mujeres y 15 hombres. Todos los sujetos obtuvieron un puntaje mayor a 50 en la encuesta de percepción de salud SF-36, la cual fue validada para uso en la población mexicana por Miguel A. Zúñiga et. al [16].
- b) Se siguieron los siguientes pasos en el protocolo de registro:
  1. Explicar procedimiento al participante, se resuelven sus dudas y, si acepta participar, firma una carta consentimiento
  2. El participante contesta la encuesta SF-36
  3. Se colocan los electrodos y se verifica que estén registrando los 7 canales. Se coloca la pulsera E4 y se enciente. Se colocan audífonos y se inicia el software para presentación de instrucciones y verificar el nivel del sonido
  4. Se solicita sentarse cómodamente y se comienza el registro. Los primeros 60 segundos se registran sin estímulo y se toma como estado basal.
  5. Se reproduce un set de 40 sonidos con una duración de 6 segundos cada uno presentados de manera aleatoria. Se solicita al participante etiquetar cada sonido utilizando la prueba SAM.
  6. El programa le solicita al participante colocar fichas blancas y negras, por 30 segundos, en un tablero de ajedrez en la pantalla de la computadora, haciendo uso del mouse y siguiendo instrucciones para la colocación. Esta etapa tiene el objetivo de generar un estado de atención auditiva controlado sin distracción.

7. Posteriormente, se presenta un set de 5 sonidos pertenecientes a un mismo cuadrante, ordenados de manera aleatoria, mientras está colocando las fichas en el tablero, y al final se le solicitó identificar y etiquetar su estado emocional durante esta etapa, haciendo uso nuevamente de la prueba SAM.
8. Se deja descansar al participante por 30 segundos sin ningún ruido o actividad asignada.
9. Se repiten los pasos 7 y 8 ahora con otro set de sonidos pertenecientes a otro cuadrante hasta terminar con los 4 cuadrantes.

Este procedimiento de 7 etapas: basal, una de etiquetado de los audios con la prueba SAM, una de atención con tablero de ajedrez sin estímulo auditivo y 4 con actividad de atención y sonidos que provocan emociones, duró entre 60 y 90 minutos, dependiendo del tiempo que se tomaba el participante en identificar su estado emocional. Los conjuntos de estímulos auditivos utilizados en las cuatro etapas de atención corresponden a los cuadrantes Q1, Q2, Q3 y Q4 del modelo circunplejo de Russell; los cuales fueron asignados aleatoriamente durante la secuencia de las pruebas.

El software encargado de dar las instrucciones para la colocación de fichas en el tablero de ajedrez, así como de reproducir los sonidos, además registra los tiempos de respuesta del participante y el número de aciertos y errores en la colocación, así como el orden en el que se aplicaron los grupos de sonidos. Al finalizar el registro se cuenta con la siguiente información:

- a) Señal de 7 canales de EEG para cada etapa: basal, etiquetado con la prueba SAM, una etapa de tablero de ajedrez sin estímulo auditivo y 4 etapas de atención con estímulo auditivo usando la actividad de colocar fichas en el tablero.
- b) Señales proporcionadas por la pulsera E4 (para las 7 etapas), de las cuales se utilizarán EDA y HR.
- c) Archivo con tiempos de cada una de las etapas
- d) Archivo con etiqueta del cuadrante al que pertenecen los sonidos auditivos.

- e) Archivo con datos personales y etiquetado de los sonidos, aciertos y errores en la prueba de atención y los tiempos que se tardó en cada movimiento de ficha.
- f) Una hoja en donde se registran: nombre y género del participante, fecha y hora, las medidas de colocación de electrodos de acuerdo con el sistema 10-20 y observaciones
- g) Archivo de texto con los resultados de la prueba SF-36.

#### ***2.4. Extracción de características***

Se utilizaron diferentes técnicas de procesamiento para cada una de las señales fisiológicas, implementadas en MATLAB® las cuales se describen a continuación.

### **EEG**

Al revisar los registros de EEG, se seleccionaron solo aquellos que contaban con los 7 canales simultáneos con la información completa durante todas las etapas ya que en algunos casos se desprendieron uno o más electrodos o se tuvieron fallas en el sistema de EEG. Con esta selección se redujo a 8 el número de participantes.

Esta señal pasó por tres etapas principales: 1) preprocesamiento, 2) segmentación y extracción de características y 3) cálculo de coeficiente de atención en cada una de las etapas.

1. Preprocesamiento: se utilizaron filtros IIR tipo Butterworth de 4to orden, pasa-banda, con frecuencias de corte de 0.5 a 50 Hz. Para la atenuación de parpadeos se utilizó la transformada discreta de Wavelet con una wavelet madre Daubechies 4. Se segmentó la señal de acuerdo a las 7 etapas registradas: i) Basal, ii) Etiquetado con la prueba SAM, iii) Tarea de atención con el tablero, sin estímulo auditivo y iv) Cuatro etapas de atención y emoción, utilizando el tablero y estímulos auditivos de cada uno de los cuadrantes de acuerdo al modelo circumplejo de Russell.
2. Segmentación y extracción de características: una vez segmentadas las etapas, se extrajeron y analizaron visualmente por etapas de atención, con estímulo

(Q1-Q4) y sin estímulo (NQ). Se calculó la Transformada de Fourier y se calculó la energía en las bandas alfa y beta cada segundo.

3. Obtención del coeficiente de atención calculando el radio de las energías en las bandas de frecuencia, alfa/beta, el cual es inversamente proporcional al nivel de atención.

## **EDA y HR**

Los datos de estas dos señales se obtuvieron de los registros de la pulsera E4. El primer paso consistió en revisar que los archivos tuvieran la información y se descartaron los registros de 5 voluntarios que estaban incompletos o no eran viables. Para los 20 registros que contienen información completa se llevó a cabo un procedimiento de 3 etapas: 1) segmentación en las etapas del protocolo, 2) extracción de características y, 3) almacenamiento de los resultados.

La segmentación consiste en separar cada una de las etapas utilizando los tiempos registrados con el software. Cabe mencionar que el número de datos por unidad de tiempo es diferente para cada una de las señales, siendo 1 y 4 datos por segundo para HR y EDA respectivamente. Esto debido a que las tasas de muestreo son diferentes en la pulsera E4. Una vez segmentada, se calculó el promedio por participante en cada una de las etapas.

### ***2.5. Evaluación de los cambios en las variables asociados a los estímulos distractores***

Para conocer y caracterizar la base de datos para su posterior análisis con métodos automáticos se procedió a realizar una prueba general para cada una de las señales bajo estudio. Se utilizó una plataforma para revisión de los datos de manera interactiva. Y a partir de esta información se compararon los datos por etapa para identificar si hay valores atípicos y si se pueden esperar cambios entre las diferentes etapas consideradas. Se analizó el efecto de los sonidos como un distractor en una misma prueba de atención basada en el uso del tablero de ajedrez. Se compararon los valores promedio y sus desviaciones estándar sin estímulo (NQ) contra las otras pruebas de atención y estímulos provenientes de Q1 al Q4 del modelo de Russell. Como resultado del etiquetado durante la etapa

SAM, se encontró que solo el 35 % de los 20 participantes etiquetaron a los sonidos del cuadrante Q3 en ese cuadrante, el 65 % etiquetaron esos estímulos en otro cuadrante. Debido a esto, hay un desbalance muy marcado en la cantidad de datos por prueba. Por lo que se recurrió al uso de un modelo mixto como prueba para establecer si hay diferencias entre los resultados de cada prueba, se aplicó máxima verasimilitud para establecer la estimación del promedio de las columnas que no contaron con suficiente información.

### 3. Resultados

Se observaron cambios en las señales cuando estamos en un proceso cognitivo sin y con distractores. También se observa que los cambios difieren para cada uno de los participantes. Para analizar las diferencias de los cambios en promedio de todos los participantes se calculó el parámetro Fold Change (FC), que se define como el valor/promedio del participante, con el objetivo de identificar las diferencias entre los estados, eliminando el efecto del promedio de cada participante.

#### EEG

La Figura 4 muestra el coeficiente de atención calculado con el radio de las energías de las bandas Alfa y Beta en la etapa de atención sin distractor (NQ) y las cuatro

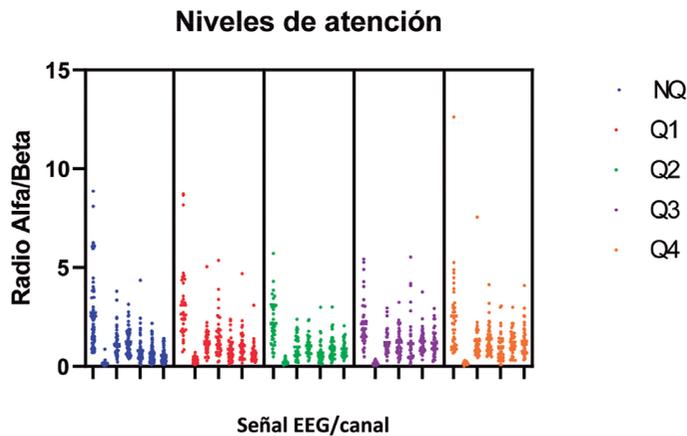


Figura 4. Nivel de atención (energía alfa/beta) en la señal EEG

etapas de atención con distractor (Q1-Q4) para un participante. Cada área en diferente color representa cada una de las etapas y las columnas de puntos representan cada uno de los canales en el orden: C3, C4, F3, F4, FP1, T3 y T4. Cada punto representa el radio Alfa/Beta, segundo a segundo. Se observa que en Q2, cuyos estímulos corresponden a los estados emocionales de satisfecho, calmado, sereno y relajado, es en donde se presentan menos cambios en todos los canales y hay una tendencia a aumentar el nivel de atención. En cambio, en los otros estados se observan más cambios con una tendencia a bajar el nivel de atención. Sin embargo, para cada participante se observa un comportamiento diferente.

### EDA y HR

En las Figuras 5 y 6 se muestran los resultados de los 20 participantes para cada una de las etapas. En EDA se observa que los cambios difieren para los participantes, mostrando mayores cambios en Q4. Sin embargo, es diferente para cada participante. En HR también se observa que para cada participante los cambios de una etapa a otra varían y no se observa una tendencia por etapa.

Para el análisis, se recurre al cálculo FC, para extraer solo los cambios con respecto al promedio de la prueba por persona, ya que los cambios son pequeños. Al anali-

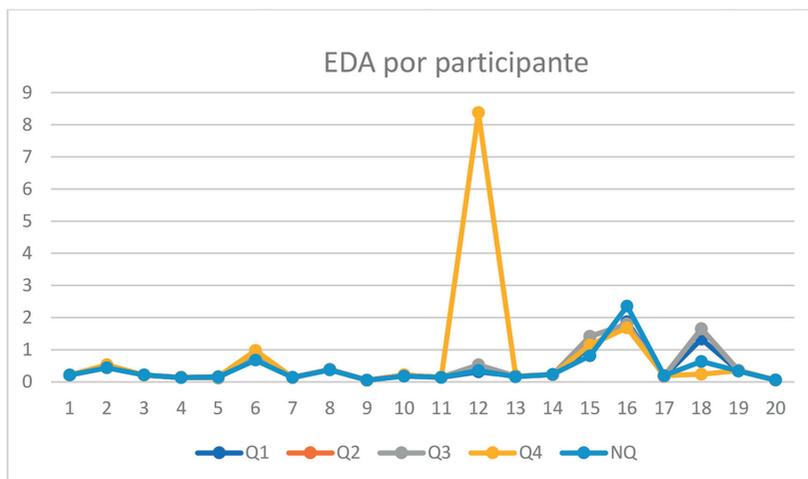


Figura 5. EDA ( $\mu\text{S}$ ), medido en la muñeca durante las etapas: sin distractor (NQ) y atención con distractor auditivo de los cuadrantes Q1-Q4

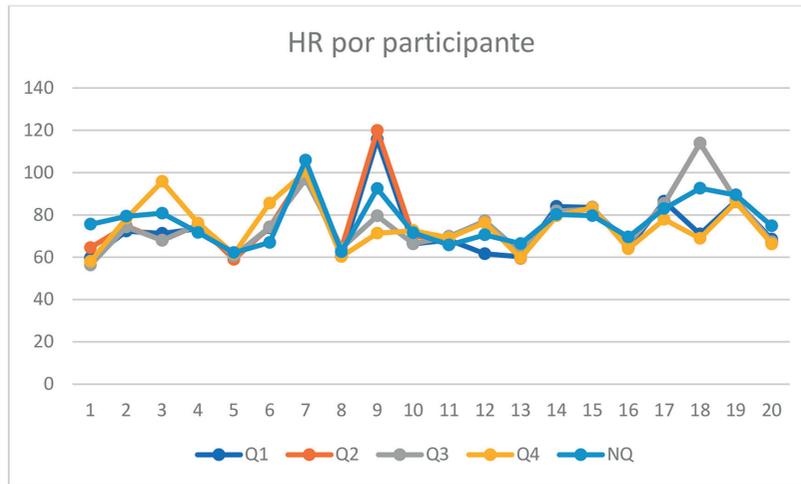


Figura 6. HR (Pulso/Minuto) medido con la técnica de fotopletismografía durante las etapas sin distractor (NQ) y con distractor (Q1-Q4)

zar con respecto al estado NQ, donde no hay distractor y haciendo las correcciones pertinentes por el número de participantes que seleccionaron Q3, se propuso el método de mixed Model con ajuste de máxima similitud. Para una Alpha de 0.05, en EDA se obtuvieron cambios significativos en Q4 y Q2 comparados con NQ. El estado que tiene un efecto mínimo en la señal durante el desempeño en la tarea de atención es el cuadrante Q1 asociado con la emoción de felicidad y estar alerta. Mientras que los distractores asociados a Q4 presentan los cambios mayores, el cual se relaciona con los estados emocionales de enojado, tenso, nervioso y estresado. Para ese mismo valor de Alpha, en HR no se encontraron cambios significativos.

#### 4. Discusión

Como se observa en los resultados, las tres señales proporcionan información sobre los estados emocionales, y en el caso de EEG, además, nos permite relacionarlo con el coeficiente de atención. En este análisis preliminar del estudio piloto se observa que el sistema de registro de EEG permite registrar cambios en la señales debidos a los estímulos utilizados como distractores. También nos deja ver que cada participante presenta un comportamiento distinto y que, si se desea generar un sistema para identificar las etapas se requiere de un análisis personalizado para las tres señales utilizadas.

En este estudio se observa que las emociones influyen en los procesos cognitivos, ya que alteran el coeficiente de atención (EEG, Canal FP1) y la respuesta galvánica de la piel, registrada con la señal EDA. Al tener conocimiento de las emociones que podemos provocar y su efecto en la atención, podríamos mejorar los procesos de enseñanza aprendizaje.

Cabe mencionar que esta es una prueba piloto que permitió ver la utilidad de contar con el equipo de EEG propio y obtener la experiencia de las fallas durante la realización del protocolo. También permitió observar la necesidad de contar con la sincronización de ambos equipos, EEG y pulsera, lo cual se espera resolver con el uso de la pulsera propia una vez que llegue a su diseño final. Aunque se probó el primer prototipo de pulsera y se caracterizó, obteniendo resultados similares a los de la E4, aún falta un diseño ergonómico que sea cómodo y robusto durante las pruebas del protocolo. Este protocolo también nos llevó a la conclusión que transmitir las señales por Bluetooth no es la mejor opción si se hacen pruebas fuera del laboratorio, ya que se probó en un ambiente no controlado y se tuvo pérdida de datos. De aquí se tomó la decisión de incluir una memoria para el almacenamiento de los datos.

En lo que respecta al EEG, esta prueba piloto permitió observar las áreas de oportunidad del equipo y gracias a ello, se diseñó y construyó la siguiente versión en la cual se hicieron mejoras en tamaño, diseño, consumo de energía y eliminación de baterías por módulo. Esta versión se encuentra totalmente caracterizada, esperando llevar a cabo un segundo protocolo de registro una vez que tengamos acceso a las instalaciones del instituto.

Una de las aportaciones que deja esta prueba piloto es la experiencia de colaboración de los investigadores de las diferentes unidades y centros de investigación, así como la interacción de estudiantes de doctorado, maestría y licenciatura, ya sea como estancias doctorales, tesis, alumnos BEIFI y servicios sociales de las diferentes carreras y áreas de especialidad.

## **Financiación**

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo mediante la subvención SIP20196196 y SIP 20200839. Los autores agradecen a todos los participantes como voluntarios en el protocolo.

## Referencias

- [1] Maher Chaouachi & Claude Frasson, «Exploring the Relationship between Learner EEG Mental Engagement and Affect» de Intelligent Tutoring Systems. ITS, vol. 6095, Montreal, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 291-293. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-13437-1\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-642-13437-1_48)
- [2] B. Hu, X. Li, S. Sun y M. Ratcliffe, «Attention recognition in EEG-Based Affective Learning Research Using CFS+KNN algorithm» IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, vol. 15, n° 1, pp. 38-45, 2018. <https://doi.org/10.1109/TCBB.2016.2616395>
- [3] Y. Li, X. Li, M. Ratcliffe, L. Liu, Y. Qi y Q. Liu, «A Real-time EEG-based BCI System for attention Recognition in Ubiquitous Environment» de UAA-IP'11 - Proceedings of the 2011 International Workshop on Ubiquitous Affective Awareness and Intelligent Interaction., Beijin, 2011. <https://doi.org/10.1145/2030092.2030099>
- [4] X. Li, B. Hu, T. Zhu, J. Yan y F. Zheng, «Towards affective learning with an EEG feedback Approach,» de MTDL '09 Proceedings of the first ACM international workshop on Multimedia technologies for distance learning, Beijin, 2009. <https://doi.org/10.1145/1631111.1631118>
- [5] X. Li, Q. Zhao, L. Liu, H. Peng, Y. Qi, C. Mao, Z. Fang y Q. Liu, «Improve Affective Learning with EEG Approach,» Computing and Informatics, vol. 29, n° 1, pp. 557-570, 2010.
- [6] Balbuena-Vera Bruno, Reyes-Ramírez Diego, Tovar-Corona Blanca, Anzuetto-Ríos Álvaro, Solis-Villela J. Gonzalo, Neurofeedback training system with audiovisual stimuli for the attention state induction during cognitive processes, 14<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering, Computing and Automatic Control, Mexico City, 2017
- [7] O. Sourina, Q. Wang, Y. Liu y M. K. Nguyen, «EEG-enabled Human-Computer Interaction and Applications,» de Towards Practical Brain-Computer Interfaces , Singapur, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, pp.251-268. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-29746-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29746-5_13)

- [8] O. Sourina, Y. Liu, Q. Wang y K. N. Minh, «EEG-Based Personalized Digital Experience» Springer-Verlag Berlín Heidelberg, pp. 591-599, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.05.069>
- [9] M. Tortella Feliu, A. Morillas Romero, B. M., J. Llabrés, X. Bornas y P. Putman, «Spontaneous EEG activity and spontaneous emotion regulation» *International Journal of Psychophysiology*, pp. 365-372, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.09.003>
- [10] J. A. Russell, «Culture and the Categorization of Emotions,» *Psychological Bulletin*, vol. 110, n° 3, pp. 426-450, 1991. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.110.3.426>
- [11] M. M. Bradley y L. P. J., «The International Affective Digitized Sounds (2<sup>nd</sup> Edition; IADS-2): Affective Ratings of Sounds and Instruction Manual,» Gainesville. FL, 2007.
- [12] M. M. Bradley y P. J. Lang, «Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential,» *Journal of Behavioral Therapy and Experimental Psychiatry*, vol. 25, n° 1, pp. 49-59, 1994. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- [13] J. Posner, J. A. Russell y B. S. Peterson, «The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development and psychopathology» *Development and Psychopathology*, n° 17, pp. 715-734, 2005. <https://doi.org/10.1017/S0954579405050340>
- [14] B. S. Posner, Jonathan, Russel, James A., Peterson, “The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology,» *Dev Psychopathol*, vol. 17, no. 3, pp. 715-734, 2005. <https://doi.org/10.1017/S0954579405050340>
- [15] A. A. Vicencio-Martinez, B. Tovar-Corona, and L. I. Garay-Jimenez, “Emotion recognition system based on electroencephalography,» *2019 16th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Autom. Control. CCE 2019*, pp. 1-6, 2019. <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2019.8884588>

- [16] M. A. Zuñiga, C. J. G. T., P. J. Fos, B. Gandek y M. Medina Moreno, «Evaluación del estado de salud con la encuesta SF-36 : resultados preliminares en México,» Salud pública de México, vol. 41, n° 2, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0036-36341999000200005>