

Jornadas de Automática

Sistema integrado multimodal de monitorización fisiológica para evaluar carga cognitiva

Ainhoa Ruiz-Vitte^{a,*}, Adrián Díaz-Gómez^a, Patricia Blanco^b, Álvaro Gutiérrez^a, Blanca Larraga-García^a

^aETSI de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid, España.

^bSUMMA 112, Servicio de Urgencias Médicas de la Comunidad de Madrid, 28045 Madrid, España.

To cite this article: Ruiz-Vitte, A., Díaz-Gómez, A., Blanco, P., Gutiérrez, A., Larraga-García, B. 2026. Integrated multimodal physiological monitoring system for cognitive workload assessment. *Jornadas de Automática*, 47. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2026.47.13787>

Resumen

Los operadores de centros de emergencias médicas trabajan en entornos de alta presión donde la carga cognitiva puede afectar tanto al rendimiento como a la toma de decisiones. En este trabajo se presenta un sistema multimodal para la monitorización fisiológica de operadores durante llamadas simuladas de emergencias. La plataforma integra señales cardiovasculares, respiratorias y oculares mediante sensores ECG, banda respiratoria y un dispositivo de *eye-tracking*, permitiendo la adquisición sincronizada de datos fisiológicos y el etiquetado temporal de eventos. Además, se desarrolla una interfaz web para la gestión de usuarios y el control de las sesiones experimentales. El sistema se prueba mediante una serie controlada de diferentes eventos simulados. Los resultados muestran que el sistema permite registrar de forma continua y sincronizada las señales fisiológicas, constituyendo una base para futuros estudios sobre carga cognitiva en entornos de emergencias.

Palabras clave: Sistemas y señales, Dispositivos, sistemas y soluciones médicas, Adquisición y procesamiento de señales biomédicas, Monitorización fisiológica, Sistemas multimodales

Integrated multimodal physiological monitoring system for cognitive workload assessment

Abstract

Emergency medical dispatchers operate in highly demanding environments where cognitive workload can affect both performance and decision-making. This work presents a multimodal physiological monitoring system designed to study cognitive workload during simulated emergency calls. The platform integrates cardiovascular, respiratory, and ocular signals using ECG sensors, a respiratory monitoring band, and an eye-tracking device, enabling synchronized physiological data acquisition together with temporal event annotation. In addition, a web-based interface was developed for user management and experimental session control. To validate the system, a one-hour recording session involving multiple simulated events was conducted. Results show that the system is capable of continuously and synchronously recording physiological signals, providing a foundation for future studies focused on cognitive workload assessment in emergency environments.

Keywords: Systems and signals, Medical devices, systems and solutions, Biomedical signal measurement and processing, Physiological monitoring, Multimodal systems

1. Introducción

Los operadores de los centros de control de emergencias constituyen un componente fundamental en la atención sani-

taria, actuando como el nexo crítico entre las personas en peligro y los recursos necesarios para proporcionar una respuesta rápida y eficaz. Cuando se recibe una llamada de emergencia, la rapidez y precisión en la gestión de la información resultan

*Autor para correspondencia: a.rvitte@upm.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

esenciales para garantizar una intervención adecuada Alzayed and Alsardi (2025); Terrell et al. (2004). La efectividad de esta respuesta depende tanto de la información proporcionada por la persona que llama como del estado cognitivo del operador Alzayed and Alsardi (2025); Pöhler et al. (2023).

Estos profesionales trabajan en entornos altamente dinámicos, donde deben gestionar múltiples flujos de información bajo una elevada presión temporal. Este tipo de escenarios genera una elevada carga cognitiva, entendida como la cantidad total de esfuerzo mental que se utiliza en la memoria de trabajo de un individuo Sweller et al. (2019). Cuando esta carga excede la capacidad de procesamiento del operador, pueden producirse errores, retrasos en la respuesta y una disminución de la calidad del servicio. Además, una exposición prolongada a estas condiciones puede derivar en fatiga y deterioro del bienestar psicológico del operador.

Por ello, comprender y gestionar la carga cognitiva resulta fundamental para mejorar la eficiencia operativa en los centros de emergencias, así como la seguridad de los pacientes y las condiciones laborales de los operadores. En este contexto, las tecnologías de monitorización fisiológica ofrecen nuevas oportunidades para analizar de forma objetiva y continua el estado cognitivo durante la realización de las tareas.

1.1. Trabajos Previos

Diversos estudios han demostrado que los operadores de emergencias experimentan altos niveles de carga cognitiva debido a factores como la multitarea, la presión temporal y el estrés emocional Laguna et al. (2022); Kosch et al. (2023). Los primeros trabajos, como Terrell et al. (2004), destacaron la complejidad cognitiva asociada a la coordinación de recursos y la gestión de incidentes. Posteriormente, estudios como Tavares and Eva (2013); Coelho et al. (2014) relacionaron la elevada carga cognitiva con mayores niveles de estrés y fatiga laboral.

Investigaciones más recientes han empleado metodologías cuantitativas para evaluar esta problemática. Por ejemplo, Alzayed and Alsardi (2025) utilizaron el cuestionario NASA-TLX Hart and Staveland (1988) para identificar factores como la presión temporal, la complejidad de las tareas y el estrés emocional como principales contribuyentes a la carga de trabajo. Asimismo, Kanaan and Moacdieh (2022) y Kosch et al. (2023) mostraron que la multitarea, las interrupciones auditivas y la gestión simultánea de incidentes incrementan significativamente la demanda cognitiva y pueden afectar negativamente al desempeño.

Sin embargo, la mayoría de estos estudios se basan en medidas subjetivas. Para superar esta limitación, investigaciones recientes incorporan señales fisiológicas en entornos simulados. En esta línea, Pöhler et al. (2023) utilizaron patrones respiratorios registrados mediante sensores portátiles para monitorizar la carga cognitiva en un simulador de centro de emergencias, mientras que Laguna et al. (2022) exploraron métricas objetivas como parámetros oculares y medidas de rendimiento.

Asimismo, se han desarrollado plataformas de sensado y actuación capaces de integrar señales fisiológicas en tiempo real para proporcionar soporte contextual en entornos inteligentes. En este contexto, se ha explorado el uso de señales

fisiológicas para identificar cambios en el estado interno del usuario y adaptar la interacción del sistema Calvo et al. (2015); Ho (2025). Por ejemplo, Uria-Rivas et al. (2019) desarrollaron una plataforma orientada a la adquisición de señales fisiológicas y a la generación de soporte emocional multisensorial personalizado, demostrando la importancia de disponer de sistemas robustos para la captura y procesamiento de información fisiológica en tiempo real.

A pesar de estos avances, todavía existe una falta de estudios que analicen de forma detallada la evolución dinámica de la carga cognitiva durante las llamadas y los momentos específicos de mayor exigencia para el operador.

Por ello, este trabajo presenta el desarrollo de un sistema multimodal integrado de monitorización fisiológica orientado a la adquisición sincronizada de constantes fisiológicas y métricas de rendimiento durante llamadas simuladas en un centro de control de emergencias médicas. El objetivo es proporcionar una plataforma que permita estudiar la carga cognitiva de los operadores, analizar la relación entre la carga cognitiva y el desempeño del operador, así como identificar episodios de alta exigencia cognitiva durante la gestión de las llamadas.

2. Sistema de Monitorización

Determinadas señales fisiológicas permiten evaluar de forma objetiva la carga cognitiva durante la realización de tareas complejas Ayres et al. (2021); Tao et al. (2019). Entre las variables más relevantes destacan las señales cardiovasculares, respiratorias y oculares, debido a su relación directa con los procesos de atención, estrés y esfuerzo mental Das Chakladar and Roy (2024); Luzzani et al. (2025).

En particular, las señales electrocardiográficas (ECG) y métricas derivadas como la frecuencia cardíaca y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) han sido ampliamente utilizadas como indicadores del nivel de activación fisiológica y demanda cognitiva Arutyunova et al. (2024). Del mismo modo, la frecuencia y los patrones respiratorios se han relacionado con cambios en el esfuerzo mental y situaciones de estrés Gutiérrez et al. (2023); Pöhler et al. (2023). Por otro lado, las medidas oculares, como el tamaño pupilar, los parpadeos, las fijaciones y los movimientos oculares, constituyen métricas especialmente sensibles a variaciones en la carga cognitiva y la atención visual Krejtz et al. (2018); Skaramagkas et al. (2023).

En este trabajo se propone un sistema de monitorización multimodal que integra estas señales para registrar de forma sincronizada la actividad fisiológica durante llamadas simuladas de emergencias, permitiendo analizar su relación con la carga cognitiva y el rendimiento del operador.

2.1. Dispositivos

2.1.1. Seguimiento ocular

Para la adquisición de medidas oculares se utilizó el dispositivo Pupil Core, un sistema portátil de *eye-tracking* diseñado para el registro de movimientos oculares y comportamiento visual en tiempo real Kassner et al. (2014). El dispositivo está compuesto por dos cámaras infrarrojas orientadas hacia los

ojos y una cámara de escena en la parte frontal de las gafas encargada de capturar el campo visual del usuario. Entre las variables registradas, destacan el diámetro pupilar, las fijaciones visuales, los movimientos sacádicos y la frecuencia de parpadeo Kassner et al. (2014).

Diversos estudios han demostrado que estas métricas presentan una estrecha relación con la carga cognitiva y el nivel de atención Krejtz et al. (2018); Skaramagkas et al. (2023); Kanaan and Moacdieh (2022). En particular, el diámetro pupilar se considera un indicador sensible del esfuerzo mental, ya que tiende a aumentar ante tareas cognitivamente demandantes Ayres et al. (2021). Por otro lado, los patrones de fijación y movimientos oculares permiten analizar la distribución de la atención visual y la estrategia de procesamiento de la información durante la realización de tareas complejas Skaramagkas et al. (2023).

En este trabajo, el sistema de *eye-tracking* se emplea para analizar cómo varían los patrones visuales y el tamaño pupilar de los operadores durante la gestión de llamadas simuladas, especialmente en momentos asociados a una mayor presión temporal o complejidad en la toma de decisiones.

2.1.2. Señales cardiovasculares

Para el registro de señales cardiovasculares se utiliza el sistema *biosignalsplux* desarrollado por *PLUX Biosignals*¹ PLUX Wireless Biosignals S.A. (2025) junto con sensores ECG de superficie. La señal ECG se obtiene mediante una configuración de tres electrodos adhesivos colocados debajo del pecho, siguiendo una derivación simplificada de un solo canal. Esta configuración permite registrar la actividad eléctrica cardíaca necesaria para la detección de complejos QRS, los intervalos RR, y el cálculo de métricas derivadas como la HRV (ver Figura 1)

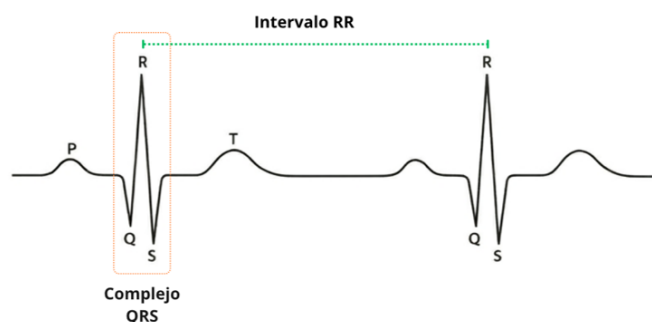


Figura 1: Señal ECG con complejo QRS e intervalo RR

La frecuencia cardíaca constituye un indicador ampliamente utilizado para evaluar el nivel de activación fisiológica y estrés. Por su parte, la HRV refleja las variaciones temporales entre latidos consecutivos y proporciona información sobre la actividad del sistema nervioso autónomo Arutyunova et al. (2024). Numerosos estudios han demostrado que una disminución de la HRV suele asociarse a situaciones de elevada carga cognitiva o estrés Tao et al. (2019); Gutiérrez et al. (2023). A su vez, otros estudios mantienen que una subida de la HRV puede asociarse a la fatiga mental Csathó et al. (2024)

En este trabajo, las señales cardiovasculares se utilizan para evaluar la respuesta fisiológica de los operadores durante la gestión de llamadas de emergencia y analizar cómo las variaciones en la activación cardíaca se relacionan con el desempeño y los momentos de mayor exigencia cognitiva.

2.1.3. Patrón respiratorio

Para la monitorización de la actividad respiratoria se utilizó la banda torácica *Zephyr Bioharness*TM, un dispositivo portátil diseñado para el registro continuo de variables fisiológicas Hailstone and Kilding (2011). El sistema incorpora sensores de expansión torácica capaces de detectar los movimientos respiratorios producidos durante la inhalación y la exhalación. A partir de estas variaciones, el dispositivo estima diferentes parámetros respiratorios, principalmente la frecuencia respiratoria y los cambios en el patrón ventilatorio.

La respiración constituye una variable fisiológica estrechamente relacionada con el estado emocional, el estrés y la carga cognitiva Pöhler et al. (2023); Gutiérrez et al. (2023). Diversos estudios han observado que tareas con alta demanda mental suelen provocar incrementos en la frecuencia respiratoria y alteraciones en la regularidad del patrón respiratorio Ayres et al. (2021). Además, los cambios respiratorios pueden aparecer de forma rápida ante situaciones de presión temporal o toma de decisiones críticas.

En el contexto de este trabajo, las señales respiratorias se emplean para identificar variaciones fisiológicas asociadas al incremento de carga cognitiva durante las llamadas simuladas y complementar la información obtenida mediante las señales cardiovasculares y oculares.

2.1.4. Vídeo

Además de las señales fisiológicas, se emplean cámaras para registrar vídeo frontal de los participantes durante las sesiones experimentales. Estas grabaciones permiten supervisar el correcto posicionamiento de los dispositivos de monitorización, especialmente las gafas de *eye-tracking*, así como detectar posibles incidencias relacionadas con los sensores durante la adquisición de datos.

Asimismo, el registro en vídeo proporciona información contextual complementaria que puede resultar útil para el análisis posterior de las sesiones, incluyendo la identificación de comportamientos no registrados por las señales fisiológicas. De forma exploratoria, estas grabaciones también podrían emplearse en futuros trabajos para el análisis automático de expresiones faciales y reconocimiento de emociones.

Todas las grabaciones se realizarían con previo consentimiento informado de los participantes, garantizando el cumplimiento de las consideraciones éticas y de privacidad correspondientes.

2.2. Integración

El sistema desarrollado permite la recopilación integral de datos fisiológicos para la evaluación del estado del usuario y de la carga cognitiva. Para ello, integra distintos módulos encargados de la captura, transmisión, almacenamiento y procesamiento de la información.

¹biosignalsplux, PLUX wireless biosignals S.A. (Lisbon, Portugal)PLUX Wireless Biosignals S.A. (2025).

El sistema de adquisición de bioseñales se basa en un programa para ordenador que integra los tres dispositivos sensores que recogen datos del usuario en tiempo real. Estos datos quedan almacenados en una base de datos MongoDB, que permite centralizar y gestionar la información procedente de los distintos dispositivos (ver Figura 2), facilitando su posterior análisis y revisión.

El dispositivo Pupil Core se conecta directamente al ordenador por USB. Los datos se transmiten al sistema a través del protocolo ZMQ (ZeroMQ), una biblioteca de mensajería de baja latencia que facilita el intercambio eficiente de datos entre procesos y aplicaciones. La banda torácica Zephyr se conecta por Bluetooth a un teléfono móvil, que actúa como intermediario para el envío de los datos al sistema central a través de una conexión MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). MQTT es un protocolo ligero de mensajería ampliamente utilizado en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) para la transmisión de datos en tiempo real. Por último, el dispositivo PLUX Biosignals se basa en un dispositivo tipo hub central, al que se conecta un sensor de ECG analógico. Este hub digitaliza la señal de ECG recogida por el sensor y la transmite por Bluetooth al ordenador.

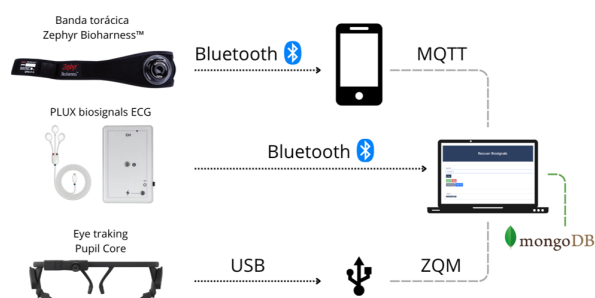


Figura 2: Sistema completo de monitorización de constantes vitales

El sistema añade marcas temporales con el fin de alinear los datos procedentes de los distintos sensores con los instantes temporales de los experimentos y con las pruebas realizadas por los sujetos. Para ello, todas las señales adquiridas son muestreadas y, a cada muestra, se le asocia un valor de *timestamp* que indica el instante concreto en el que dicha muestra fue registrada. De esta forma, es posible sincronizar posteriormente las señales fisiológicas entre sí y relacionarlas con los eventos definidos durante el protocolo experimental.

En cuanto al funcionamiento, el sistema cuenta con una interfaz web que permite distinguir entre usuarios, de forma que los datos de los distintos sujetos de prueba pueden almacenarse en el mismo equipo y asociarse correctamente a cada uno de ellos. Además, la interfaz permite marcar el comienzo y el fin de un evento durante el desarrollo del experimento, entendido en este contexto como una situación concreta de interés, por ejemplo, una llamada al centro de atención de emergencias. Puede verse un ejemplo de la colocación final del sistema de monitorización en la Figura 3.

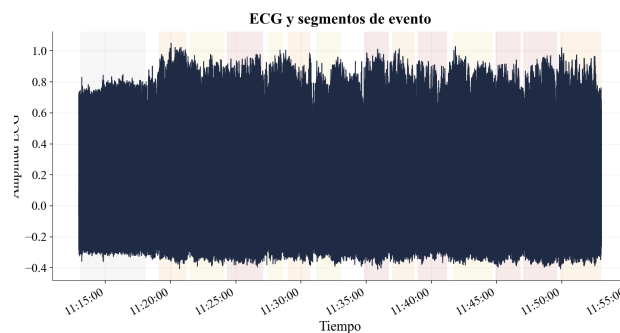


Figura 3: Ejemplo de equipación de sensores para la simulación

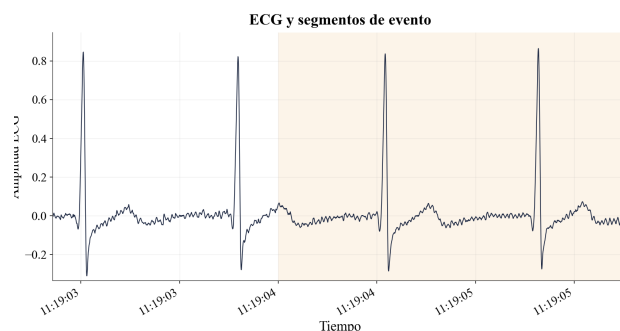
3. Resultados

Para comprobar el funcionamiento del sistema, se han realizado diferentes pruebas funcionales. Para ello, se han generado varios eventos etiquetados que representarían distintos niveles de dificultad. Para comprobar el alineamiento de los datos se ha representado las señales de ECG, diámetro de pupila y tasa de respiración frente a los momentos temporales de inicio y fin de los eventos.

En la Figura 4a se representa una grabación que permite comprobar la continuidad de la adquisición durante todo el registro. Por su parte, la Figura 4b muestra un fragmento ampliado en torno a la transición a un evento, donde los dos colores de fondo diferencian el periodo previo y posterior a su inicio. En esta última se aprecia además la morfología característica de la señal ECG y la presencia de complejos QRS.



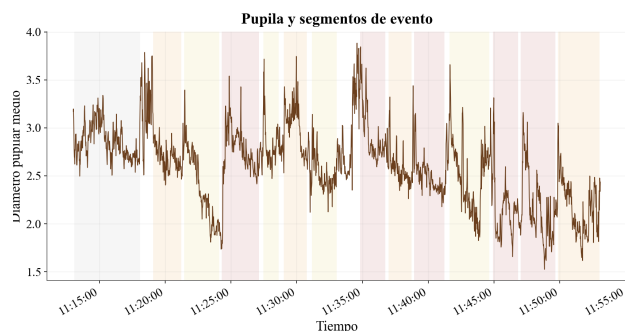
(a) Grabación de una hora de la señal ECG



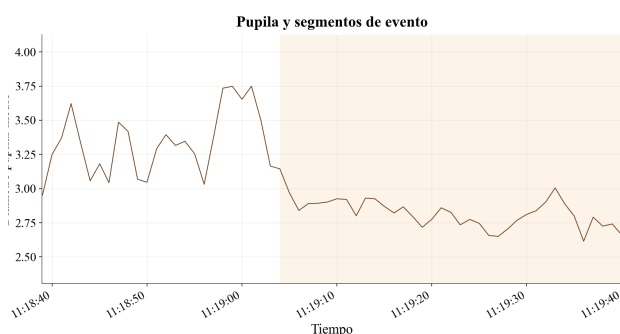
(b) Muestras de la señal ECG en la transición a un evento

Figura 4: Señal ECG registrada durante los eventos

En la Figura 5a se muestra la señal pupilar, permitiendo verificar su registro continuo y sincronizado con los eventos. Al igual que en el caso anterior, la Figura 5b recoge un fragmento ampliado de la transición a un evento, permitiendo observar con mayor detalle la evolución del diámetro pupilar antes y después de su inicio.

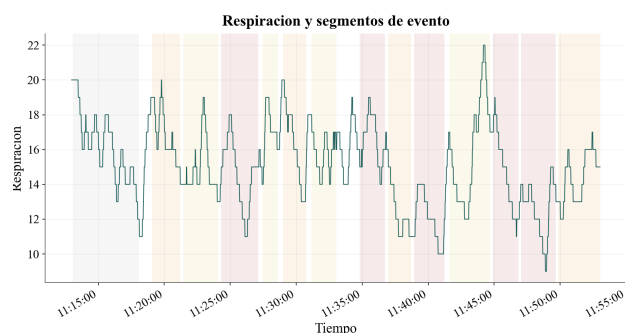


(a) Grabación de una hora de la señal pupilar

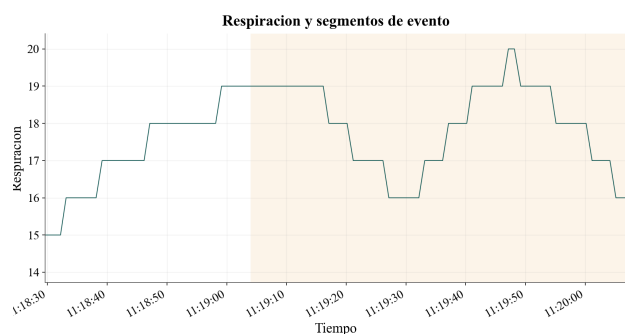


(b) Muestras de la señal pupilar en la transición a un evento

Figura 5: Señal pupilar registrada durante los eventos



(a) Grabación de una hora de la señal respiratoria



(b) Muestras de la señal respiratoria en la transición a un evento

Figura 6: Señal respiratoria registrada durante los eventos

Finalmente, en la Figura 6a se representa la señal respiratoria, comprobando la continuidad del registro. Del mismo modo, la Figura 6b muestra un fragmento ampliado de la transición a un evento, facilitando el análisis de la evolución de la señal respiratoria antes y después de su comienzo.

En conjunto, las tres señales representadas permiten comprobar que el sistema registra correctamente las diferentes fuentes fisiológicas y que estas se encuentran alineadas temporalmente con los eventos etiquetados.

4. Discusión y Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado un sistema multimodal para la adquisición y sincronización de señales fisiológicas orientado al estudio de la carga cognitiva en operadores de centros de emergencias médicas. La plataforma integra sensores cardiovasculares, respiratorios y un sistema de *eye-tracking*, permitiendo el registro continuo y sincronizado de variables fisiológicas durante la realización de tareas simuladas.

Las pruebas llevadas a cabo permitieron mostraron un funcionamiento estable del sistema en sesiones prolongadas de adquisición, con una correcta sincronización temporal entre dispositivos y eventos etiquetados. Los resultados obtenidos sugieren el potencial de la plataforma para el análisis de métricas fisiológicas relacionadas con la carga cognitiva, como la variabilidad cardíaca, la respiración o el diámetro pupilar.

El principal aporte del sistema es la integración de múltiples fuentes fisiológicas en una única plataforma, lo que permite una caracterización más completa de la respuesta del operador ante situaciones de alta demanda cognitiva.

No obstante, este trabajo constituye una validación inicial y presenta limitaciones. El sistema requiere conexión a un ordenador durante su uso, lo que reduce la movilidad y limita su aplicación en escenarios reales. Además, su despliegue requiere calibración del sistema de *eye-tracking*, conexión a la misma red WiFi y configuración manual de direcciones IP, lo que dificulta su uso operativo.

Como trabajo futuro, se plantea ampliar el rango de señales registradas para mejorar la caracterización de la carga cognitiva. En particular, se propone incorporar un sensor de GSR, habiéndose considerado como ejemplo el *Bitbrain Ring Biosignal GSR BVP*, un sensor de EOG de *biosignalsplux* para medir la actividad eléctrica ocular, y un sensor de luminosidad como el *VEML7700*, para monitorizar las condiciones de iluminación durante los experimentos.

Además, será necesario evaluar la plataforma en escenarios experimentales de mayor complejidad y más cercanos a condiciones reales de operación. Para ello, se plantea complementar el registro fisiológico con medidas subjetivas de carga de trabajo, como el cuestionario NASA-TLX, junto con información relativa a la dificultad percibida de la tarea y el desempeño del usuario.

Estos avances permitirán evolucionar la plataforma hacia soluciones más autónomas y portátiles en entornos reales de emergencia, permitiendo el estudio de la relación entre indicadores fisiológicos y la carga cognitiva experimentada. Esto, a su vez, podrá contribuir a la identificación de métricas objetivas capaces de detectar episodios de alta demanda mental.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad Politécnica de Madrid en el marco de los proyectos AURICA: Arquitecturas Autónomas y Robustas para la Inteligencia en control Adaptativo (RP2609560188) y DISCOBA: Diseño Inteligente de Sistemas de Control con Optimización Basada en Aprendizaje.

El trabajo de Ainhua Ruiz-Vitte fue financiado por el Programa Propio de I+D+i de la Universidad Politécnica de Madrid.

Referencias

- Alzayed, M. A., Alsardi, N., Jun. 2025. Dispatch under pressure: An investigation into the cognitive load of Kuwait's emergency responders. *Journal of Engineering Research*.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187725000859>
DOI: 10.1016/j.jer.2025.06.004
- Arutyunova, K. R., Bakhchina, A. V., Konovalov, D. I., Margaryan, M., Filimonov, A. V., Shishalov, I. S., Dec. 2024. Heart rate dynamics for cognitive load estimation in a driving simulation task. *Scientific Reports* 14 (1), 31656.
URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-79728-x>
DOI: 10.1038/s41598-024-79728-x
- Ayres, P., Lee, J. Y., Paas, F., van Merriënboer, J. J. G., Sep. 2021. The Validity of Physiological Measures to Identify Differences in Intrinsic Cognitive Load. *Frontiers in Psychology* 12.
URL: <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2021.702538/full>
DOI: 10.3389/fpsyg.2021.702538
- Calvo, R., D'Mello, S., Gratch, J., Kappas, A., Healey, J., Jan. 2015. *Physiological Sensing of Emotion*. Oxford University Press.
URL: <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199942237.013.023>
DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199942237.013.023
- Coelho, D. A., Filipe, J. N., Simões-Marques, M., Nunes, I. L., 2014. The expanded cognitive task load index (nasa-tlx) applied to team decision-making in emergency preparedness simulation. In: *Proceedings of the 2014 Annual Conference on Human Factors and Ergonomics Society Europe Annual Conference*. (Presented at: HFES'14. pp. 8–10.
URL: <https://www.hfes-europe.org/largefiles/proceedingshfeseurope2014.pdf>
DOI: 10.13140/RG.2.1.1170.1287
- Csathó, , Van der Linden, D., Matuz, A., 2024. Change in heart rate variability with increasing Time-on-Task as a marker for mental fatigue: A systematic review. *Biological Psychology* 185, 108727.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2023.108727>
DOI: 10.1016/j.biopsycho.2023.108727
- Das Chakladar, D., Roy, P. P., Aug. 2024. Cognitive workload estimation using physiological measures: a review. *Cognitive Neurodynamics* 18 (4), 1445–1465.
URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11297869/>
DOI: 10.1007/s11571-023-10051-3
- Gutiérrez, , Blanco, P., Ruiz, V., Chatzigeorgiou, C., Oregui, X., Álvarez, M., Navarro, S., Feidakis, M., Azpiroz, I., Izquierdo, G., Larraga-García, B., Kasnesis, P., Olaizola, I. G., Álvarez, F., Jun. 2023. Biosignals Monitoring of First Responders for Cognitive Load Estimation in Real-Time Operation. *Applied Sciences* 13 (13), 7368.
URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/13/7368>
DOI: 10.3390/app13137368
- Hailstone, J., Kilding, A. E., Oct. 2011. Reliability and validity of the zephyr™ bioharness™ to measure respiratory responses to exercise. *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 15 (4), 293–300.
URL: <http://dx.doi.org/10.1080/1091367X.2011.615671>
DOI: 10.1080/1091367X.2011.615671
- Hart, S. G., Staveland, L. E., 1988. Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology* 52, 139–183.
URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:15252590>
DOI: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9
- Ho, A. G., Aug. 2025. Emotion-adaptive user interfaces for intelligent systems. In: *2025 4th International Conference on Intelligent Mechanical and Human-Computer Interaction Technology (IHCIT)*. IEEE, p. 198–201.
URL: <http://dx.doi.org/10.1109/IHCIT66787.2025.11198931>
DOI: 10.1109/ihcit66787.2025.11198931
- Kanaan, D., Moacdieh, N. M., Nov. 2022. Eye Tracking to Evaluate the Effects of Interruptions and Workload in a Complex Task. *Human Factors* 64 (7), 1168–1180.
DOI: 10.1177/0018720821990487
- Kassner, M., Patera, W., Bulling, A., 2014. Pupil: An open source platform for pervasive eye tracking and mobile gaze-based interaction. In: *Adjunct Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. UbiComp '14 Adjunct*. ACM, New York, NY, USA, pp. 1151–1160.
URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2638728.2641695>
DOI: 10.1145/2638728.2641695
- Kosch, T., Karolus, J., Zagermann, J., Reiterer, H., Schmidt, A., Woźniak, P. W., 2023. A survey on measuring cognitive workload in human-computer interaction. *ACM Computing Surveys* 55 (13s), 1–39.
DOI: 10.1145/3582272
- Krejtz, K., Duchowski, A. T., Niedzielska, A., Biele, C., Krejtz, I., Sep. 2018. Eye tracking cognitive load using pupil diameter and microsaccades with fixed gaze. *PLOS ONE* 13 (9), e0203629.
URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0203629>
DOI: 10.1371/journal.pone.0203629
- Laguna, M., Chilimoniuk, B., Purc, E., Kulczycka, K., Jan. 2022. Job-Related Affective Well-Being in Emergency Medical Dispatchers: The Role of Workload, Job Autonomy, and Performance Feedback. *Advances in Cognitive Psychology* 18, 243–250.
DOI: 10.5709/acp-0368-x
- Luzzani, G., Pogliano, M., Buraioli, I., Colavincenzo, M., Martorana, S., Guglieri, G., Demarchi, D., 2025. ECG, Respiration, fNIRS, and Eye Tracking for Stress and Mental Workload Monitoring in Human-Machine Interaction. *IEEE Access* 13, 122726–122741.
URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11078285>
DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3588384
- PLUX Wireless Biosignals S.A., 2025. biosignalsplux research platform. <https://www.pluxbiosignals.com>, lisbon, Portugal. Accessed: 2026-05-09.
- Pöhler, J., Vitt, A., Flegel, N., Mentler, T., van Laerhoven, K., 2023. Investigating Cognitive Load in Emergency Control Room Simulations. *GI*, p. 10.18420/muc2023.
URL: <https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/42097>
DOI: <https://doi.org/10.18420/muc2023-mci-ws01-355>
- Skaramagkas, V., Giannakakis, G., Ktistakis, E., Manousos, D., Karatzanis, I., Tachos, N., Tripoliti, E., Marias, K., Fotiadis, D. I., Tsiknakis, M., 2023. Review of Eye Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes. *IEEE reviews in biomedical engineering* 16, 260–277.
DOI: 10.1109/RBME.2021.3066072
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., Paas, F., Jun. 2019. Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review* 31 (2), 261–292.
URL: <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
DOI: 10.1007/s10648-019-09465-5
- Tao, D., Tan, H., Wang, H., Zhang, X., Qu, X., Zhang, T., Aug. 2019. A Systematic Review of Physiological Measures of Mental Workload. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (15), 2716.
URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6696017/>
DOI: 10.3390/ijerph16152716
- Tavares, W., Eva, K. W., May 2013. Exploring the impact of mental workload on rater-based assessments. *Advances in Health Sciences Education* 18 (2), 291–303.
URL: <https://doi.org/10.1007/s10459-012-9370-3>
DOI: 10.1007/s10459-012-9370-3
- Terrell, I., Mcneese, M., Jefferson, T., Sep. 2004. Exploring Cognitive Work within a 911 Dispatch Center: Using Complementary Knowledge Elicitation Techniques. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 48.
DOI: 10.1177/154193120404800370
- Uria-Rivas, R., Rodriguez-Sanchez, M. C., Santos, O. C., Vaquero, J., Boticario, J. G., 2019. Impact of physiological signals acquisition in the emotional support provided in learning scenarios. *Sensors* 19 (20).
URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/20/4520>
DOI: <https://doi.org/10.3390/s19204520>