

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.

ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,

Volumen 9, Número 5.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i5](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5)

## **CLASIFICACIÓN DE PATRONES RESPIRATORIOS CON EDGE IMPULSE: UNA EXPERIENCIA DIDÁCTICA EN BIOFÍSICA**

CLASSIFICATION OF RESPIRATORY PATTERNS  
WITH EDGE IMPULSE: A DIDACTIC EXPERIENCE  
IN BIOPHYSICS

**Jonathan Alexis Romero López**  
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

**Leydi Marina Jiménez Caicedo**  
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

## Clasificación de Patrones Respiratorios con Edge Impulse: Una Experiencia Didáctica en Biofísica

**Jonathan Alexis Romero López<sup>1</sup>**

[ja.romerol@uea.edu.ec](mailto:ja.romerol@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-9043-2357>

Universidad Estatal Amazónica  
Ecuador

**Leydi Marina Jiménez Caicedo**

[lm.jimenezc@uea.edu.ec](mailto:lm.jimenezc@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0001-3956-8985>

Universidad Estatal Amazónica  
Ecuador

### RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de clasificación de patrones respiratorios (exhalación normal (en reposo) y exhalación profunda) utilizando la plataforma Edge Impulse, así como evaluar la percepción estudiantil sobre la experiencia didáctica. Se desarrolló una investigación exploratoria-aplicada con 12 estudiantes de primer curso de Biofísica, quienes grabaron cuatro audios de 10 segundos cada uno mediante el micrófono del celular. Las 48 muestras resultantes se procesaron en Edge Impulse y se transformaron en espectrogramas para entrenar un modelo binario con división automática en conjuntos de entrenamiento (80%) y validación (20%). El rendimiento del sistema se evaluó mediante métricas estándar y una encuesta tipo Likert (1–5) sobre comprensión conceptual, motivación, interdisciplinariedad, accesibilidad y aplicabilidad. Los resultados mostraron una precisión del modelo de clasificación en condiciones ideales del 99% (AUC = 0.98 y F1 = 0.99); mientras que, en pruebas en tiempo real se obtuvo un 87,5% de aciertos. La encuesta evidenció una percepción positiva, destacando la accesibilidad tecnológica y la aplicabilidad percibida. En conjunto, la propuesta demuestra que es posible implementar experiencias de aprendizaje interdisciplinarias, accesibles y motivadoras mediante el uso de teléfonos móviles y plataformas de inteligencia artificial gratuitas, ampliando las oportunidades pedagógicas en contextos con recursos limitados.

**Palabras clave:** biofísica, inteligencia artificial, respiración

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [ja.romerol@uea.edu.ec](mailto:ja.romerol@uea.edu.ec)

# Classification of Respiratory Patterns with Edge Impulse: A Didactic Experience in Biophysics

## ABSTRACT

This study aimed to design and implement a system for classifying respiratory patterns—normal (resting) exhalation and deep exhalation—using the Edge Impulse platform, and to assess students' perceptions of the learning experience. An exploratory–applied study was conducted with 12 first-year Biophysics students, who each recorded four 10-second audio clips using a mobile phone microphone. The 48 resulting samples were processed in Edge Impulse and converted into spectrograms to train a binary model with an automatic 80%/20% split for training and validation. System performance was evaluated using standard metrics and a Likert-scale (1–5) survey covering conceptual understanding, motivation, interdisciplinarity, accessibility, and applicability. Results showed a classification accuracy of 99% under ideal conditions ( $AUC = 0.98$ ;  $F1 = 0.99$ ), while real-time tests achieved 87.5% accuracy. The survey indicated a positive perception, highlighting technological accessibility and perceived applicability. Overall, the approach demonstrates that it is possible to implement interdisciplinary, accessible, and motivating learning experiences using mobile phones and free artificial intelligence platforms, expanding pedagogical opportunities in resource-constrained settings.

**Keywords:** biophysics, artificial intelligence, respiration

*Artículo recibido 15 octubre 2025  
Aceptado para publicación: 19 noviembre 2025*



## INTRODUCCIÓN

El estudio de los patrones respiratorios constituye un eje esencial en la fisiología y la biofísica, pues refleja la interacción entre procesos mecánicos, químicos y eléctricos que sustentan el intercambio gaseoso y la homeostasis del organismo. El aparato respiratorio, responsable del ingreso de oxígeno y la eliminación de dióxido de carbono, funciona mediante una coordinación precisa entre la ventilación pulmonar y el transporte sanguíneo (Vicente-Martínez, 2024). La exhalación, como fase activa del ciclo respiratorio, implica la regulación de presiones intrapulmonares, la elasticidad pulmonar y el control neural que define la frecuencia y profundidad respiratoria (Webster & Karan, 2020).

La biofísica, entendida como disciplina transdisciplinaria, articula los principios de la física con los procesos biológicos para explicar fenómenos vitales a partir de conceptos de equilibrio, autoorganización y transferencia de energía (Silva et al., 2020). Este enfoque concibe al cuerpo humano como un sistema abierto donde la energía, materia e información interactúan de forma continua. En esta perspectiva, la bioelectricidad ha cobrado relevancia al demostrar que los gradientes eléctricos celulares son esenciales para la comunicación y regeneración de tejidos, redefiniendo el control fisiológico (Levin et al., 2019).

No obstante, la enseñanza de la biofísica enfrenta limitaciones derivadas de su enfoque teórico y desarticulado de la práctica experimental. Estrategias activas han mostrado ser eficaces para fortalecer la comprensión conceptual y el pensamiento crítico. Caliman Filadelfi et al. (2015) evidenciaron que los recursos lúdicos y tecnológicos mejoran el aprendizaje en fisiología, mientras Hernández-Martínez et al. (2022) demostraron que los modelos tridimensionales físicos y virtuales facilitan la comprensión de la relación entre estructura, función y entorno. De igual forma, la aplicación de tecnologías inmersivas como la realidad aumentada ha optimizado la visualización anatómica y la motivación estudiantil (Saat et al., 2024), y el simulador organosintético desarrollado por Horvath et al. (2020) reproduce con alta fidelidad los movimientos del diafragma, constituyéndose en un modelo didáctico seguro y realista.

El desarrollo de sensores biomédicos y de inteligencia artificial (IA) ha transformado la manera de abordar la respiración. Los biosensores basados en espectroscopía Raman combinados con algoritmos de aprendizaje automático alcanzan precisiones cercanas al 100 % en la detección de biomarcadores



(Ding et al., 2023), mientras que el sistema de monitoreo de signos vitales propuesto por Bejarano Reyes y Manzano Ramos (2021) valida la eficacia de dispositivos de bajo costo para medir pulso, temperatura y saturación de oxígeno en tiempo real. Estas tecnologías abren la posibilidad de trasladar metodologías biomédicas avanzadas al aula de biofísica.

En este escenario, la plataforma Edge Impulse se consolida como un recurso educativo innovador. Este entorno en la nube permite desarrollar modelos de machine learning (ML) para sistemas embebidos, integrando adquisición, entrenamiento y despliegue (Hymel et al., 2023). Su aplicación se ha extendido desde el reconocimiento de objetos (Pinaso et al., 2024) y la detección de enfermedades agrícolas (Gookyi et al., 2024) hasta la clasificación de imágenes médicas en microcontroladores (Diab & Rodríguez-Villegas, 2022). Su accesibilidad y compatibilidad con dispositivos económicos como el ESP32 o el Arduino Nano 33 BLE Sense la vuelven ideal para contextos educativos (Márquez-Vera et al., 2023; Kwon, 2023).

Investigaciones recientes respaldan su potencial didáctico. Durgun y Durgun (2024) evidenciaron que su integración en proyectos prácticos mejora las competencias técnicas, mientras Schulz et al. (2023) destacaron su papel en la enseñanza interdisciplinaria de ingeniería e IA. En paralelo, Olyanasab y Annabestani (2024) mostraron que los dispositivos portátiles con aprendizaje automático impulsan la salud personalizada, alcanzando precisiones de hasta el 99 % en la detección de alteraciones respiratorias.

Los avances en análisis automatizado de señales respiratorias mediante deep learning complementan esta tendencia. McClure et al. (2020) desarrollaron una red neuronal convolucional unidimensional que clasifica eventos respiratorios con una precisión superior al 90 %, y Wang et al. (2022) aplicaron modelos similares para identificar patrones ventilatorios, superando incluso la exactitud de especialistas clínicos. A su vez, Fekr et al. (2014) diseñaron un modelo jerárquico para clasificar trastornos respiratorios en tiempo real, lo que demuestra el potencial educativo y experimental de la IA en fisiología.

El presente estudio se enmarca en esta convergencia entre ciencia, tecnología y educación, con el objetivo de diseñar e implementar un sistema de clasificación de exhalaciones normales y profundas mediante Edge Impulse, evaluando tanto el desempeño técnico del modelo como su impacto pedagógico



en estudiantes. Se espera que el sistema clasifique con precisión las señales respiratorias, empleando la metodología de adquisición y procesamiento de Edge Impulse, aplicando los principios del aprendizaje automático a la comprensión conceptual. Tecnologías similares han permitido identificar alteraciones respiratorias en etapas tempranas de enfermedades como la EPOC (Sin, 2023) y evidenciar la influencia del modo respiratorio en la dinámica hemodinámica cerebral (Laganà et al., 2022).

Desde la dimensión educativa, la propuesta busca aprovechar el potencial de Edge Impulse como laboratorio virtual accesible que permite a los estudiantes relacionar datos experimentales con fenómenos fisiológicos reales. En coherencia con la enseñanza compleja de la biofísica y las estrategias de mediación tecnológica, esta metodología fomenta la curiosidad científica, la autonomía y el trabajo colaborativo, con el fin de integrar la inteligencia artificial en la educación científica, promoviendo la alfabetización digital, el aprendizaje activo y la apropiación tecnológica en la formación universitaria.

## **METODOLOGÍA**

### **Diseño del estudio y participantes**

El estudio se desarrolló como una investigación exploratoria y aplicada, con enfoque experimental y didáctico, orientada a implementar un sistema de clasificación de patrones respiratorios (exhalación profunda y exhalación en reposo (normal)). Participaron 12 estudiantes de primer curso de la asignatura de Biofísica, quienes colaboraron de forma voluntaria con fines exclusivamente académicos.

Las actividades se realizaron en un espacio cerrado y controlado, procurando minimizar el ruido ambiental para garantizar la calidad de las grabaciones. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes, asegurando la confidencialidad de los registros y la ausencia de riesgos físicos o psicológicos.

### **Procedimiento experimental y procesamiento de datos**

Cada estudiante utilizó un teléfono móvil con micrófono integrado para registrar cuatro muestras de audio de 10 segundos: dos correspondientes a exhalación profunda y dos a exhalación normal. En total se obtuvieron 48 registros de audio, conformando una base de datos equilibrada.

Con el fin de garantizar la homogeneidad de las grabaciones y minimizar las diferencias en calidad acústica entre dispositivos, se emplearon dos teléfonos móviles del mismo modelo y características técnicas, que fueron utilizados de manera alternada por los 12 participantes.



Para vincular los dispositivos con el entorno de aprendizaje automático, los estudiantes escaneaban un código QR que los conectaba directamente con el proyecto creado en la plataforma Edge Impulse (versión en línea). Este procedimiento permitió que cada muestra de audio se cargara automáticamente al proyecto, evitando transferencias manuales y asegurando la integridad y trazabilidad de los datos.

Una vez recibidos los audios de manera automática en la plataforma, se convierten en espectrogramas, generando una representación visual y cuantitativa de las señales acústicas de la exhalación, utilizada posteriormente para el entrenamiento y validación del modelo de clasificación.

### **Configuración y entrenamiento del modelo**

En Edge Impulse, un impulso constituye el “esqueleto funcional” del proyecto, donde se configuran los bloques de procesamiento de datos y el modelo de aprendizaje supervisado.

En este estudio, al crear el impulso dentro del proyecto en Edge Impulse, se seleccionó “Time Series Data”, empleando el bloque de procesamiento “MFE” (Mel-Frequency Energy) y el bloque de aprendizaje “Classification”, todos ellos con parámetros establecidos por defecto, configurando así una arquitectura adecuada para el análisis y categorización de señales acústicas de la exhalación.

Esta configuración permitió establecer un flujo adecuado para el análisis acústico de señales respiratorias, posibilitando que las grabaciones de exhalación se transformaran en parámetros numéricos relevantes para el entrenamiento del clasificador.

Los datos fueron divididos automáticamente por la plataforma en 80 % para entrenamiento y 20 % para validación. El modelo se entrenó utilizando los parámetros predeterminados de Edge Impulse, adecuados a la capacidad de procesamiento en línea, hasta alcanzar una convergencia estable de las métricas de precisión y pérdida.

Finalizado el entrenamiento, se depuró el modelo y se generó un código QR para su uso desde el teléfono móvil. Al escanearlo, los estudiantes realizaron pruebas en tiempo real y verificaron directamente el rendimiento del sistema.

### **Evaluación del rendimiento y del impacto didáctico**

El desempeño del sistema se evaluó mediante métricas de precisión global y matrices de confusión, generadas por la propia plataforma Edge Impulse. Como criterio de éxito, se estableció una precisión mínima del 75 % en la clasificación de ambas categorías. Además, se consideró la retroalimentación



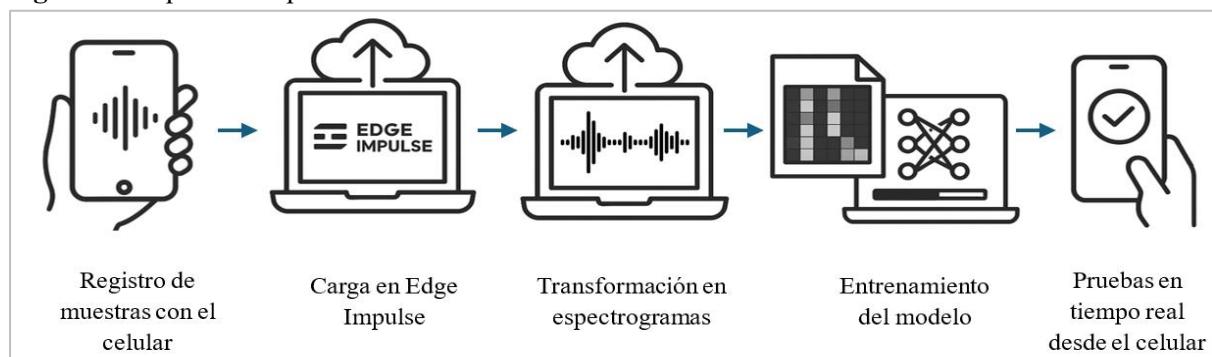
cuantitativa de los estudiantes sobre la comprensión del proceso biofísico-tecnológico.

Para valorar el impacto pedagógico, se aplicó una encuesta de percepción inmediatamente después de la práctica, utilizando una escala Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo). El instrumento contempló cinco dimensiones: comprensión conceptual, motivación académica, interdisciplinariedad, accesibilidad tecnológica y aplicabilidad percibida.

Las respuestas permitieron cuantificar la percepción estudiantil sobre la integración de conceptos de biofísica con herramientas de inteligencia artificial y la utilidad del enfoque experimental en su aprendizaje.

Finalmente, en la Figura 1 se resume de manera esquemática el procedimiento general seguido en el estudio, desde el registro de las muestras hasta la validación del modelo en tiempo real.

**Figura 1.** Esquema del procedimiento realizado en el estudio



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

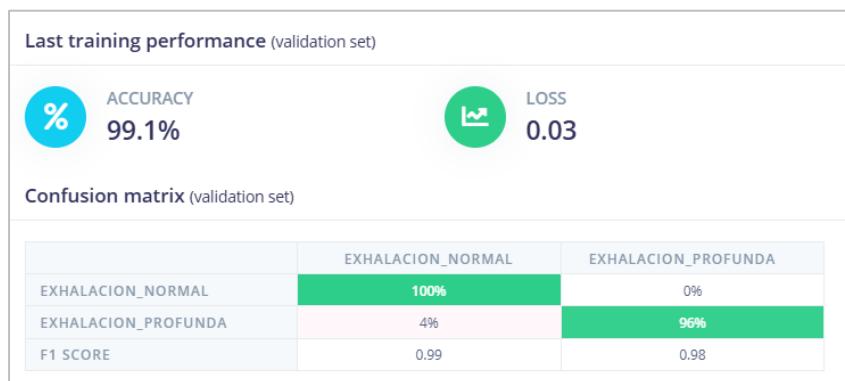
### Desempeño del sistema de clasificación

El sistema de clasificación implementado logró distinguir eficazmente entre los patrones de exhalación profunda y exhalación normal (en reposo).

La matriz de confusión obtenida en el conjunto de validación (Figura 2) evidenció un desempeño robusto: en la categoría exhalación normal alcanzó un 100 % de aciertos, mientras que en exhalación profunda se obtuvo un 96 %, con un 4 % de clasificaciones erróneas.

De forma complementaria, el modelo presentó un área bajo la curva ROC (AUC) de 0.98, y valores de precisión, sensibilidad y F1-score de 0.99, lo que confirma su fiabilidad y capacidad discriminativa.

**Figura 2.** Matriz de confusión obtenida en el conjunto de validación.



La Figura 3 muestra la distribución de aciertos y errores, lo que permite apreciar la consistencia del desempeño entre las dos categorías.

**Figura 3.** Gráfico de aciertos y errores de clasificación.



### Validación práctica en tiempo real

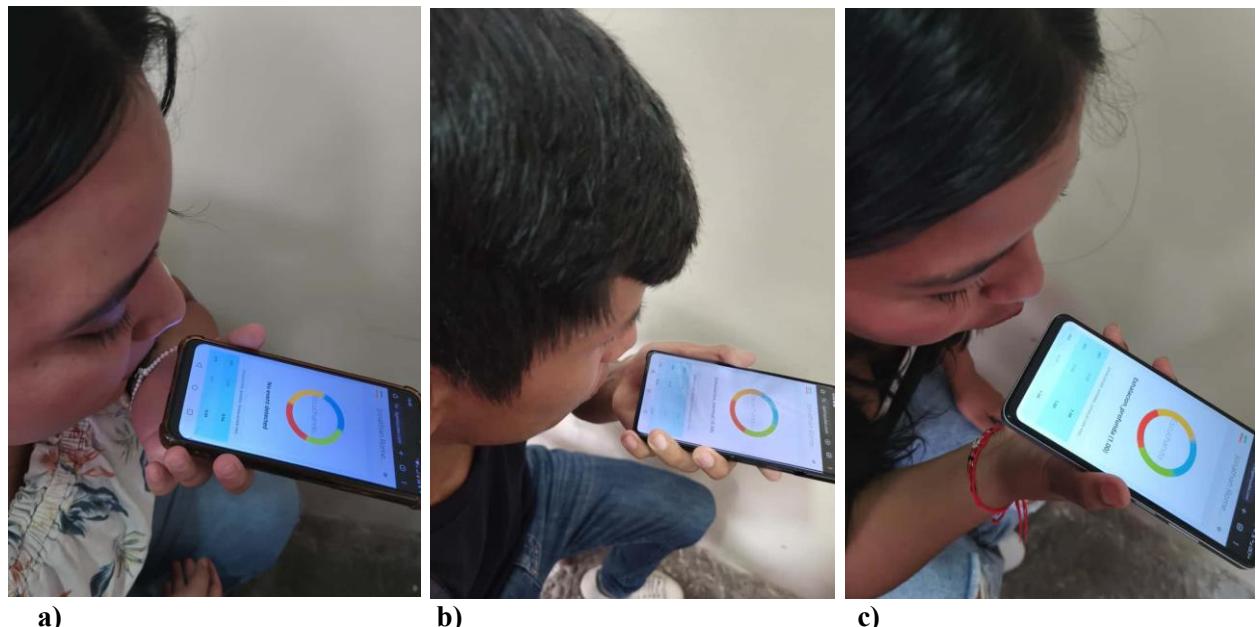
Las pruebas en tiempo real realizadas por los estudiantes utilizando los teléfonos móviles confirmaron los resultados del conjunto de validación (Figura 4).

En total se efectuaron 24 intentos de validación práctica, de los cuales 21 fueron clasificados correctamente, lo que representa una tasa de acierto del 87,5 % bajo condiciones reales de uso con dispositivos móviles comunes.

La ligera reducción en el rendimiento respecto al conjunto de validación se atribuye a factores ambientales (ruido de fondo, distancia variable al micrófono y diferencias individuales en la intensidad de la exhalación).

Estos elementos son inherentes a las condiciones naturales de un aula universitaria, lo que refuerza el carácter realista y educativo de la experiencia.

**Figura 4.** Pruebas en tiempo real: a) etiqueta “No event detected” cuando no se detecta el proceso de exhalación; b) exhalación normal reconocida; y c) exhalación profunda reconocida.



En consecuencia, los resultados confirman que el modelo mantiene una precisión adecuada incluso en contextos no controlados, característica esencial para la enseñanza práctica de clasificación de señales fisiológicas en entornos académicos.

#### **Evaluación de la percepción estudiantil**

La encuesta de percepción aplicada a los 12 participantes, mediante escala Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo), reveló una valoración global positiva hacia la experiencia (Tabla 1).

**Tabla 1.** Resultados de la encuesta de percepción estudiantil sobre la práctica de clasificación de exhalación.

Ítem	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo Ni en desacuerdo	De acuerdo	Total. de acuerdo	Media (1-5)
Comprendo la diferencia entre exhalación normal y profunda	3	1	0	2	6	3.58
Puedo explicar cómo un espectrograma representa los sonidos de la exhalación	0	2	3	4	3	3.67
La actividad aumentó mi interés por la biofísica y la fisiología respiratoria	0	2	2	2	6	4.00
Me gustaría realizar más prácticas que combinen IA y análisis de señales fisiológicas	2	2	0	0	8	3.83
La práctica integró de manera clara biología, física e informática	3	0	1	0	8	3.83
Pude relacionar lo aprendido en señales con el análisis acústico de la exhalación	1	3	0	5	3	3.50
Fue posible realizar la práctica usando solo un teléfono y los recursos disponibles	0	2	2	2	6	4.00
La plataforma y los pasos fueron fáciles de comprender y seguir	1	3	0	1	7	3.83
Considero que esta actividad será útil para mi aprendizaje futuro	0	2	2	2	6	4.00
Me siento capaz de aplicar lo aprendido en otros contextos académicos o proyectos	2	0	4	1	5	3.58

Los resultados muestran que, en términos de comprensión conceptual, los estudiantes señalaron haber entendido la diferencia entre exhalación normal y profunda (media = 3.58), así como la representación de los sonidos en espectrogramas (media = 3.67), la motivación académica (media 4.00), evidencia un incremento en el interés por la biofísica y la fisiología respiratoria. La interdisciplinariedad alcanzó una media de 3.83, lo que refleja la percepción de integración entre biología, física e informática, en cuanto a la accesibilidad tecnológica, la media de 4.00 indica que los estudiantes consideraron viable la práctica utilizando únicamente sus teléfonos móviles.

Finalmente, la aplicabilidad percibida alcanzó 3.58, lo que sugiere que los participantes se sintieron capaces de transferir lo aprendido a otros contextos académicos o proyectos futuros.

Estos resultados confirman que la experiencia fue significativa desde el punto de vista pedagógico, la interacción directa con el sistema de clasificación fortaleció la comprensión interdisciplinaria y potenció la motivación intrínseca de los estudiantes, al percibir la biofísica como una disciplina cercana, práctica y aplicable.

## **DISCUSIÓN**

Los hallazgos técnicos y pedagógicos de este estudio coinciden con investigaciones recientes que destacan el potencial de Edge Impulse y la inteligencia artificial en la enseñanza de procesos biomédicos (Hymel et al., 2023; Durgun & Durgun, 2024; Schulz et al., 2023)

Otros autores han señalado que la inclusión de plataformas de aprendizaje automático en el aula promueve un aprendizaje activo y significativo, al conectar la teoría con la experimentación directa. (Caliman Filadelfi et al., 2015; Hernández-Martínez et al., 2022; Saat et al., 2024)

En este contexto, el presente trabajo demuestra que es posible lograr una experiencia educativa de alto impacto utilizando recursos cotidianos (teléfonos móviles, navegadores web y conexión a internet), lo que refuerza la viabilidad de la educación científica con tecnologías accesibles.

Además, la combinación de métricas objetivas (precisión, sensibilidad) con indicadores subjetivos (percepción estudiantil) proporciona una evaluación integral del aprendizaje. No obstante, se reconoce que el tamaño muestral (12 estudiantes) y la cantidad limitada de registros pueden restringir la generalización de los resultados. Aun con estas limitaciones, el estudio evidencia la pertinencia del uso de inteligencia artificial en entornos educativos y su potencial para vincular la ciencia, la tecnología y la enseñanza de la fisiología humana.

## **CONCLUSIONES**

El sistema de clasificación desarrollado mediante Edge Impulse permitió diferenciar con alta precisión entre exhalaciones profundas y normales, en condiciones controladas, el modelo alcanzó una precisión global del 99%, no obstante, en las pruebas en tiempo real realizadas desde teléfonos móviles, el rendimiento descendió al 87,5 %, evidenciando el efecto del ruido ambiental, la variabilidad entre dispositivos y las condiciones de uso práctico.

En el ámbito educativo, la comprensión conceptual alcanzó valores moderados (media = 3.58), mientras que la accesibilidad tecnológica (media = 4.00) y la aplicabilidad percibida (media = 3.58) fueron



altamente valoradas. Estos resultados sugieren que la experiencia fue considerada útil, viable y estimulante por parte del estudiantado.

Desde una perspectiva pedagógica, la práctica se consolidó como una propuesta accesible, participativa y motivadora, capaz de acercar la inteligencia artificial y el análisis de señales biofísicas a estudiantes de primer curso universitario. En conjunto, este trabajo demuestra que la integración de IA, dispositivos móviles y metodologías activas ofrece nuevas oportunidades para la enseñanza de la biofísica en contextos con recursos limitados, constituyendo un modelo replicable y escalable hacia otras áreas de las ciencias.

Como líneas futuras, se recomienda ampliar la muestra, incorporar patrones respiratorios adicionales (como tos, apnea o sibilancias) y comparar el rendimiento del sistema con sensores médicos en entornos clínicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bejarano Reyes, M. A., & Manzano Ramos, E. A. (2021). Implementación de un sistema de monitoreo a nivel de prototipo de signos vitales: pulso, temperatura y saturación de oxígeno para pacientes. *Interfases*, 14(014), 17–40. <https://doi.org/10.26439/interfases2021.n014.5168>
- Caliman Filadelfi, A. M., Brandão Carvalho, L., Silva Nascimento, V., Tobaldini, G., & Tavares Conceição, L. (2015). Instrumentos pedagógicos interativos no ensino de fisiologia e noções de saúde para jovens. *Revista Brasileira de Extensão Universitária*, 6(1), 15–24. <https://doi.org/10.36661/2358-0399.2015v6i1.1865>
- Diab, M. S., & Rodríguez-Villegas, E. (2022). Performance evaluation of embedded image classification models using Edge Impulse for application on medical images. *Proceedings of the 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, 2639–2642. IEEE. <https://doi.org/10.1109/EMBC48229.2022.9871108>
- Ding, Y., Sun, Y., Liu, C., Jiang, Q.-Y., Chen, F., & Cao, Y. (2023). SERS-based biosensors combined with machine learning for medical application. *ChemistryOpen*, 12(1), e202200192. <https://doi.org/10.1002/open.202200192>
- Durgun, M., & Durgun, Y. (2024). Teaching effective techniques for incorporating edge computing in biomedical applications with biomedical students. *El-Cezeri Journal of Science and*



Engineering, 11(2), 169–174. <https://doi.org/10.31202/ecjse.1369680>

Fekr, A. R., Janidarmian, M., Radecka, K., & Zilic, Z. (2014). A medical cloud-based platform for respiration rate measurement and hierarchical classification of breath disorders. Sensors, 14(6), 11204–11224. <https://doi.org/10.3390/s140611204>

Gookyi, D. A. N., Wulnye, F. A., Wilson, M., Danquah, P., Danso, S. A., & Gariba, A. A. (2024). Enabling Intelligence on the Edge: Leveraging Edge Impulse to Deploy Multiple Deep Learning Models on Edge Devices for Tomato Leaf Disease Detection. AgriEngineering, 6(4), 3563–3585. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6040203>

Hernández-Martínez, J. C., Martínez-Morales, N., & Salinas-Cardona, D. L. (2022). La respiración en diplópodos: experiencias pedagógicas orientadas hacia la enseñanza de la Biología. Bio-grafía, 15(29), 93–104. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.15.num29-17384>

Horvath, M. A., Hu, L., Mueller, T., Hochstein, J., Rosalia, L., Hibbert, K. A., Hardin, C. C., & Roche, E. T. (2020). An organosynthetic soft robotic respiratory simulator. APL Bioengineering, 4(2), 026108. <https://doi.org/10.1063/1.5140760>

Hymel, S., Banbury, C., Situnayake, D., Elium, A., Ward, C., Kelcey, M., Baaijens, M., Majchrzycki, M., Plunkett, J., Tischler, D., Grande, A., Moreau, L., Maslov, D., Beavis, A., Jongboom, J., & Janapa Reddi, V. (2023). Edge Impulse: An MLOps platform for tiny machine learning. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2212.03332>

Kwon, C.-K. (2023). Development of embedded machine learning finger number recognition application using Edge Impulse Platform. Proceedings of the 2023 Congress in Computer Science, Computer Engineering, & Applied Computing (CSCE), 2697–2699. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSCE60160.2023.00433>

Laganà, M. M., Di Tella, S., Ferrari, F., Pelizzari, L., Cazzoli, M., Alperin, N., Jin, N., Zacà, D., Baselli, G., & Baglio, F. (2022). Blood and cerebrospinal fluid flow oscillations measured with real-time phase-contrast MRI: Breathing mode matters. Fluids and Barriers of the CNS, 19(1), 100. <https://doi.org/10.1186/s12987-022-00394-0>

Levin, M., Selberg, J., & Rolandi, M. (2019). Endogenous bioelectronics in development, cancer, and regeneration: Drugs and bioelectronic devices as electroceuticals for regenerative medicine.



iScience, 22, 519–533. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2019.11.023>

Márquez-Vera, M. A., Martínez-Quezada, M., Calderón-Suárez, R., Rodríguez, A., & Ortega-Mendoza, R. M. (2023). Microcontrollers programming for control and automation in undergraduate biotechnology engineering education. *Digital Chemical Engineering*, 9, 100122. <https://doi.org/10.1016/j.dche.2023.100122>

McClure, K., Erdreich, B., Bates, J. H. T., McGinnis, R. S., Masquelin, A., & Wshah, S. (2020). Classification and Detection of Breathing Patterns with Wearable Sensors and Deep Learning. *Sensors*, 20(22), 6481. <https://doi.org/10.3390/s20226481>

Olyanasab, A., & Annabestani, M. (2024). Leveraging Machine Learning for Personalized Wearable Biomedical Devices: A Review. *Journal of Personalized Medicine*, 14(2), 203.

<https://doi.org/10.3390/jpm14020203>

Pinaso, G. R., Figueiredo, L. M., Rosa Júnior, O., & da Silva Richetto, M. R. (2024). Edge Impulse potential to enhance object recognition through machine learning. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 45, e49197. <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2024.v45.49197>

Saat, A., Rahmat, R. W. O. K., Ab Razak, N. I., Abas, R., & Mohd Thani, S. (2024). The perception of medical students on the usefulness of the Respiratory Ventilatory Augmented Reality (ResVAR) application for learning the respiratory system. *Education in Medicine Journal*, 16(S1), 29–36. <https://doi.org/10.21315/eimj2024.16.s1.4>

Schulz, A., Stathatos, S., Shriver, C., & Moore, R. (2023). Utilizing online and open-source machine learning toolkits to leverage the future of sustainable engineering. *arXiv*.

<https://arxiv.org/abs/2304.11175>

Silva, M. G. da, Dias, M. A. da S., & Luna, K. P. de O. (2020). Ensino de biofísica: Entre o equilíbrio, o desequilíbrio e a auto-organização em sistemas biológicos. *Revista Sustinere*, 8(2), 539–569. <https://doi.org/10.12957/sustinere.2020.53510>

Sin, D. D. (2023). The importance of early chronic obstructive pulmonary disease: A lecture from 2022 Asian Pacific Society of Respirology. *Tuberculosis and Respiratory Diseases*, 86(2), 71–81. <https://doi.org/10.4046/trd.2023.0005>



Vicente-Martinez, Y. (2024). Estructura y funcionamiento del aparato respiratorio. Con-Ciencia Serrana: Boletín Científico de la Escuela Preparatoria Ixtlahuaco, 6, 32–33.

<https://doi.org/10.29057/ixtlahuaco.v6i11.11979>

Wang, Y., Li, Q., Chen, W., Jian, W., Liang, J., Gao, Y., Zhong, N., & Zheng, J. (2022). Deep learning-based analytic models based on flow-volume curves for identifying ventilatory patterns. *Frontiers in Physiology*, 13, Article 824000.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2022.824000>

Webster, L. R., & Karan, S. (2020). The physiology and maintenance of respiration: A narrative review. *Pain Therapy*, 9, 467–486. <https://doi.org/10.1007/s40122-020-00203-2>

