

# Capítulo 3

---

## **Neuroeducación y Nueva Escuela Mexicana, tecnologías de monitoreo fisiológico no invasivo para el aprendizaje integral**

*Rosy-Feria Reyes<sup>1</sup>*

*Aldo Eleazar Pérez-Ramos<sup>2</sup>*

*Brenda García-Jarquín<sup>2</sup>*

*Enrique López-Ramírez<sup>2</sup>*

*Gildardo Oswaldo García-Montalvo<sup>2</sup>*

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26002552>



---

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería/Instituto Tecnológico del Valle de Etila/Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México.

<sup>2</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México.

## **Resumen**

El proceso de aprendizaje es un fenómeno complejo que involucra factores cognitivos, emocionales, sociales y del entorno que determinan cómo las personas adquieren y consolidan el conocimiento adquirido. En este contexto, la neuroeducación ha reunido durante décadas aportes de la neurociencia, la psicología y la pedagogía para comprender cómo aprende el cerebro y qué tipos de estrategias educativas pueden aplicarse para que los estudiantes puedan tener un desarrollo integral. Este capítulo analiza los fundamentos del aprendizaje desde un enfoque neuroeducativo, su integración con estrategias didácticas y su vinculación con el modelo educativo humanista promovido por la Nueva Escuela Mexicana (NEM). Asimismo, se revisan contribuciones recientes que analizan el uso de dispositivos vestibles y sistemas embebidos biomédicos para el monitoreo de variables fisiológicas asociadas con la atención, fatiga cognitiva y regulación emocional. Se analiza su papel como herramientas complementarias para la toma de decisiones pedagógicas informadas y lograr el desarrollo integral de los estudiantes en entornos de aprendizaje adaptativos.

### **1. Introducción**

En la actualidad, los sistemas educativos se encuentran en un proceso de transformación; reconocen que el aprendizaje no depende solamente de la transmisión del conocimiento, sino también de la interacción entre factores neurobiológicos como factores cognitivos, emocionales, sociales y del entorno (UNESCO, 2024). Es aquí donde la neuroeducación emerge como una disciplina que articula aportes de la neurociencia, psicología y pedagogía para entender cómo aprende el cerebro y traduce este conocimiento en estrategias educativas con base científica para que los estudiantes alcancen un desarrollo integral (Pradeep et al.,

2024; Zeng, 2025; Alkhasawneh, 2025). En la figura 1 se representa de forma esquemática esta convergencia interdisciplinaria. Por ejemplo, la neurociencia aporta las bases biológicas del aprendizaje, la psicología explica los procesos cognitivos y emocionales involucrados y la pedagogía estructura las estrategias didácticas y los criterios de evaluación; en su intersección se tiene la neuroeducación como un enfoque integrador: mente, cerebro y educación.

**Figura 1**

*Campos interdisciplinarios y factores que involucran la neuroeducación.*



Recientemente, estudios empíricos han validado estrategias pedagógicas sustentadas en principios neurocognitivos. Por ejemplo, Vagha (2025) menciona que la repetición espaciada, la presentación multimodal de la información y la metacognición guiada favorecen la comprensión, la retención del conocimiento y la participación de los estudiantes. Sin embargo, otros trabajos también advierten que existe el riesgo de interpretaciones reduccionistas, por lo que la neuroeducación debe fun-

damentarse con evidencia científica rigurosa. En este sentido, Pradeep (2024) orienta el diseño de ambientes de aprendizaje que priorizan el bienestar cognitivo y socioemocional como componentes esenciales del desarrollo académico.

En México, la neuroeducación converge ampliamente con los principios de la Nueva Escuela Mexicana (NEM) impulsada por la Secretaría de Educación Pública (SEP), la cual promueve un modelo educativo humanista centrado en el estudiante. Este nuevo enfoque en México reconoce que el proceso de aprendizaje está influenciado por factores sociales, culturales, emocionales y cognitivos, particularmente relevantes en un país caracterizado por una amplia diversidad sociocultural con brechas educativas regionales.

Por su parte, trabajos sobre neurociencia han documentado que factores como el estrés crónico, la fatiga cognitiva y la sobrecarga mental afectan negativamente procesos como la memoria de trabajo, la atención sostenida y las funciones ejecutivas, con impacto directo en el desempeño académico de los estudiantes (Pradeep et al., 2024; Hernández-Mutieleles et al., 2024). En este sentido, la atención al bienestar emocional que promueve la NEM encuentra un respaldo científico sólido en la evidencia neuroeducativa. Además, en la NEM también se promueve que el aprendizaje será significativo siempre y cuando se desarrolle en entornos escolares seguros, emocionalmente regulados y cognitivamente estimulantes.

En este contexto, la incorporación de tecnologías de monitoreo fisiológico no invasivo, utilizando dispositivos electrónicos vestibles (wearables), se espera que se vuelva una herramienta complementaria para la toma de decisiones pedagógicas informadas (Hong et al., 2025). Estos dispositivos, que pueden colocarse en la cabeza, la muñeca o en el tórax de las personas, así como se observa en la Figura 2, permiten registrar signos vitales de los estudiantes mientras se encuentren desarrollando actividades en el aula. Contar con esta información permitiría asociar estos datos biomédicos con el estrés, la carga cognitiva y con la atención de los estudiantes hacia dichas actividades educativas. Por lo que nuevas estrategias educativas adaptativas y personalizadas podrían emerger en beneficio de los estudiantes (Hong et al., 2025, Hernández-Mutieleles et al., 2024).

El presente capítulo proporciona una revisión sintética de la neuroeducación, sus convergencias pedagógicas con la Nueva Escuela Mexicana y cómo el uso de dispositivos y sistemas de monitoreo no invasivo fortalece el aprendizaje significativo en entornos reales.

**Figura 2**  
Dispositivos vestibles que pueden ser utilizados para fines educativos.



## 2. Neuroeducación y Nueva Escuela Mexicana: fundamentos conceptuales y convergencias pedagógicas

Los trabajos reportados por Gosh (2022) y Pradeep (2024) señalan que el aprendizaje es un proceso dinámico en el que interactúan la atención, la memoria, la emoción y la motivación, sustentado en mecanismos como la plasticidad sináptica y la reorganización de redes neuronales.

En este contexto, la neuroeducación emerge como una disciplina que articula aportes de la neurociencia, la pedagogía y la psicología cognitiva,

con el propósito de comprender cómo los procesos neurobiológicos influyen en el aprendizaje (Alkhassawneh, 2025). Por su parte, la NEM constituye un marco normativo y pedagógico que orienta al sistema educativo nacional hacia un modelo humanista, inclusivo y centrado en el estudiante. En la Figura 3 se presentan de forma sintética los principios pedagógicos centrales de la NEM, los cuales convergen con los fundamentos neuroeducativos al priorizar el bienestar integral, la participación activa y la atención a la diversidad.

### Figura 3

*Principios pedagógicos de la Nueva Escuela Mexicana y sus ejes formativos.*



Como se puede observar en la Figura 3, en el centro se ubica la NEM como eje articulador del proceso formativo; se destaca que el aprendizaje no se concibe únicamente como la adquisición de conocimientos, sino como un desarrollo integral que abarca dimensiones cognitivas, socioemocionales, éticas y comunitarias. Esto último tiene una relación directa con la neuroeducación.

Alrededor del núcleo se presentan cinco ejes fundamentales (Sakata, 2025):

1. Formación integral del estudiante, que promueve un aprendizaje activo, significativo, centrado en la persona. La convergencia pedagógica es el desarrollo equilibrado de capacidades cognitivas, socioemocionales y éticas.
2. Equidad e inclusión, orientadas a garantizar el acceso a una educación justa, reconociendo la diversidad cultural, social y de los ambientes. Se puede notar que la convergencia está en la adaptación pedagógica a ritmos, estilos y condiciones socioculturales diversas.
3. Pensamiento crítico y memoria histórica, enfocados en la reflexión, la conciencia social, el ejercicio de derechos y la construcción de ciudadanía informada. Se privilegia el análisis, argumentación y toma de decisiones informadas.
4. Colaboración y participación escuela-comunidad, que reconoce el aprendizaje como un proceso situado, vinculado al entorno social y al trabajo colectivo. Convergen en la participación comunitaria, lo que permite un aprendizaje considerando el entorno.
5. Vida saludable, que incorpora el cuidado del cuerpo y la mente como condiciones esenciales para el aprendizaje, fortaleciendo el bienestar físico y socioemocional.

Adicionalmente, la neurociencia ha demostrado que factores como el estrés crónico y la fatiga cognitiva afectan negativamente la memoria de trabajo, la atención sostenida y las funciones ejecutivas con impacto directo en el desempeño académico (Adomako et al., 2025; Ghosh, 2022). De esta manera, la NEM enfatiza la necesidad de promover el bienestar socioemocional como condición para el aprendizaje y la permanencia escolar (Sakata, 2025).

### **3. Neuroeducación basada en monitoreo fisiológico no invasivo**

En la última década, tecnologías de monitoreo no invasivo se han vinculado con la neuroeducación, particularmente dispositivos vestibles conocidos también como “wearables”, los cuales se están utilizando para adquirir señales fisiológicas asociadas a procesos cognitivos y emocio-

nales de los estudiantes en el aula. Con el apoyo de estos dispositivos conectados a plataformas de seguimiento, es posible obtener indicadores objetivos, abriendo nuevas oportunidades para el diseño de estrategias pedagógicas que se adapten de forma dinámica para lograr su bienestar integral (Khosravi, 2022). Como lo reporta Gyasi (2025), la implementación de estas técnicas basadas en tecnologías emergentes muestra que la fatiga, el estrés escolar y la carga mental son los principales casos detectados que tienen un impacto directo con el rendimiento escolar.

La neuroeducación basada en tecnologías de monitoreo se puede estructurar en cinco ejes fundamentales: 1) biomarcadores fisiológicos asociados a procesos cognitivos y emocionales; 2) dispositivos y sistemas de adquisición de señales; 3) arquitecturas del Internet de las Cosas (IoT) y gestión de datos; 4) estrategias neuroeducativas derivadas del análisis fisiológico; y 5) retos transversales que abarcan aspectos éticos, tecnológicos y de implementación en entornos educativos reales.

#### **4. Biomarcadores fisiológicos asociados a procesos cognitivos y emocionales**

El monitoreo de signos vitales de forma no invasiva se basa en la identificación de biomarcadores que pueden asociarse con estados cognitivos y emocionales que son relevantes en el aprendizaje; entre ellos se encuentran la atención sostenida, la fatiga mental y el estrés académico (Adomako et al., 2025). Entre las señales más empleadas destacan el electroencefalograma (EEG), métricas cardiovasculares derivadas de señales electrocardiográficas (ECG) y fotopletimográficas (PPG), la respuesta electrodermal o actividad endodérmica (AED), también conocida como respuesta galvánica cutánea (GSR), y en una menor medida también provenientes de señales biomecánicas (Bleck, 2022; Batti, 2025). El electroencefalógrafo es el dispositivo vestible más utilizado en estudios de neuroeducación. Con el uso de este se ha demostrado que la actividad cerebral en determinadas bandas de frecuencias se correlaciona con procesos cognitivos específicos. En particular, de acuerdo con Raufi (2022), el incremento de la actividad frontal theta y la disminución de la actividad beta son indicadores de fatiga cognitiva y reducción del estado

de alerta en tareas de aprendizaje prolongadas. Por su parte, la frecuencia cardiaca (FC) y la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) han sido ampliamente utilizadas como indicadores de estrés y control fisiológico del estado emocional. En el contexto educativo, la VFC se ha asociado con la carga cognitiva, la ansiedad ante evaluaciones y la capacidad de autorregulación emocional. La medición mediante sensores PPG integrados en wearables resulta particularmente atractiva por su bajo costo, facilidad de uso frente a otras técnicas (Chung, 2021).

Las actividades endodérmicas (AED o GSR) son otro biomarcador ligado a la activación del sistema nervioso simpático. Por ejemplo, en (Orobas, 2024) la AED ha mostrado sensibilidad para identificar estados de estrés, especialmente cuando se combina con otras señales fisiológicas. No obstante, su interpretación aislada puede resultar ambigua, dado que factores ambientales y del entorno influyen significativamente en la conductancia de la piel.

Finalmente, los sensores inerciales como acelerómetros y giroscopios de 3 ejes, aunque no miden directamente estados cognitivos, aportan información sobre movimiento, postura y actividad física, permitiendo diferenciar artefactos fisiológicos y enriquecer los modelos de análisis de múltiples señales. La tendencia actual apunta a la integración de una gran variedad de biomarcadores para mejorar la validez de las inferencias realizadas en el aula (Guerrero-Sosa, 2025).

## **5. Dispositivos y sistemas de adquisición de señales**

El desarrollo de estos dispositivos y sistemas electrónicos inalámbricos ha sido un factor relevante para trasladar la neuroeducación del laboratorio al aula. En la literatura reportada se identifican dos grandes categorías de soluciones: dispositivos comerciales y prototipos académicos o de investigación (Hernández-Mustiles, 2024).

Los wearables comerciales, como bandas, relojes inteligentes o diademas EEG portátiles, como se presenta en la Figura 2, destacan por su facilidad de implementación, ergonomía y aceptación por parte de los usuarios. Sin embargo, presentan limitaciones en términos de acceso a

señales sin procesar; no se pueden configurar o implementar algoritmos de procesamiento, esto restringe su uso en investigación educativa avanzada (Zeng, 2025).

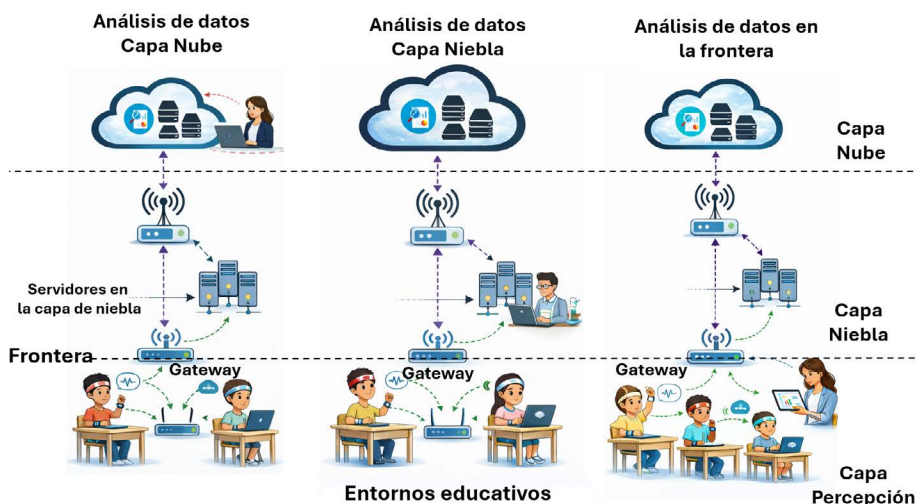
En contraste, los sistemas embebidos biomédicos desarrollados en entornos académicos permiten un mayor control sobre el hardware y el software, incluyendo la selección de sensores, microcontroladores, módulos de comunicación inalámbrica y estrategias de gestión energética, capaces de operar durante sesiones educativas completas sin afectar significativamente la dinámica del aula (Abbas, 2025). Especialmente con la población infantil y adolescente, dispositivos que no sean ubicuos pueden alterar el comportamiento natural de los estudiantes y comprometer la validez de los datos (Gosh, 2022). Es por esta razón que las tendencias actuales priorizan diseños con pequeños factores de forma, ergonómicos, ligeros y no estigmatizantes. Es importante mencionar que estos dispositivos forman parte de la capa de percepción en el modelo de arquitectura IoT de tres capas que se analizará a continuación.

## **6. Arquitecturas del Internet de las Cosas (IoT), software y gestión de datos**

En el ámbito de los sistemas de monitoreo basados en el Internet de las cosas (IoT), existen diferentes tipos de modelos que se utilizan para representar de forma estructurada el flujo de datos desde su adquisición hasta su procesamiento y almacenamiento en servidores remotos o locales. Por razones de simplicidad, suele adoptarse el modelo de arquitectura IoT de tres capas como la que se presenta en la Figura 4.

**Figura 4**

Arquitecturas del IoT para el monitoreo y análisis de procesos educativos.



En la capa de percepción, ubicada en el nivel inferior del modelo, se encuentran los wearables encargados de la adquisición de señales fisiológicas y comportamentales. En este nivel se generan datos de manera continua por parte de dispositivos de pequeño factor de forma alimentados por baterías. Esto implica que existan restricciones en la capacidad de cómputo, energía y almacenamiento en el dispositivo. Debido a estas limitaciones, los wearables transmiten la información mediante tecnologías inalámbricas hacia un nodo intermedio conocido como puente de acceso (gateway). Esta capa es el punto de origen del flujo de datos y representa el componente más cercano al usuario final.

En el nivel intermedio se localiza la capa de niebla (fog), la cual típicamente está conformada por enrutadores, gateways y servidores locales. Su función principal es realizar un procesamiento inicial de las señales recolectadas y almacenadas. En esta etapa pueden ejecutarse tareas de filtrado de ruido, agregación de datos, compresión y extracción inicial de características; estas operaciones están orientadas a reducir la latencia y el volumen de información que se transmite a los servicios en la nube.

Por último, la capa de nube se ubica en el nivel superior del modelo de arquitectura analizado y en esta se ejecutan servicios de almacenamiento,

algoritmos de análisis de datos, identificación de patrones y minería de datos. Asimismo, las tecnologías utilizadas le permiten comunicarse e integrarse con plataformas de análisis externo y/o sistemas institucionales.

En cuanto a la gestión de los datos generados por estas capas, se pueden clasificar en tres principales (Yaqob, 2026): 1) Arquitecturas basadas en cómputo en la nube (en inglés *cloud computing*); 2) Arquitecturas híbridas nube-frontera (en inglés *cloud-edge*); y 3) Arquitecturas orientadas al cómputo en la frontera (en inglés *edge computing*).

Las arquitecturas basadas en cómputo en la nube almacenan, procesan y analizan los datos en servidores remotos. Su principal ventaja es la escalabilidad, disponibilidad de recursos y su integración con servicios de analítica de datos avanzada y algoritmos de inteligencia artificial. Si bien estos procesos se ejecutan en servidores con una muy alta capacidad de cómputo, sus limitaciones están asociadas a la latencia en las respuestas o retroalimentación hacia los usuarios, la dependencia de conectividad hacia estos servidores, un elevado consumo de energía debido a la transmisión continua de los dispositivos vestibles. Además, la seguridad y privacidad es un tema a considerar debido a que se manejan datos biomédicos y/o cognitivos.

Con el propósito de solventar estas limitaciones, se han propuesto arquitecturas híbridas que combinan procesamiento local e intermedio. En estos modelos de arquitecturas, el preprocesamiento, filtrado de ruido y extracción inicial de características se realizan en dispositivos locales o nodos intermedios, mientras que el entrenamiento de modelos complejos se realiza en la niebla o en la nube (Orovas, 2024). Este enfoque permite reducir latencia, optimizar el ancho de banda y fortalecer la protección de los datos sensibles mediante el cifrado de datos antes de su transmisión.

Por su parte, el cómputo en la frontera representa una línea de desarrollo emergente con especial potencial en aplicaciones educativas que requieren retroalimentación en tiempo casi real. Al ejecutar algoritmos de aprendizaje automático e inferencia directamente en el dispositivo embebido o en gateways locales, se puede llevar a cabo la toma de decisiones de manera casi inmediata. Por ejemplo, se pueden detectar estados de atención o fatiga cognitiva sin tener que esperar la respuesta de un análisis realizado en la nube o niebla. Aunque su adopción en entornos

educativos está en fases iniciales, el avance de técnicas como TinyML y el aprendizaje federado amplía su viabilidad para escenarios donde la privacidad, la baja latencia y la eficiencia energética son factores determinantes para un monitoreo continuo y en periodos de tiempo prolongados.

## **7. Estrategias neuroeducativas basadas en monitoreo fisiológico**

El monitoreo fisiológico no invasivo en entornos educativos es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones pedagógicas. Zeng (2025) enfatiza que la finalidad de estos es generar información objetiva que complemente la observación del docente, favoreciendo intervenciones adaptativas centradas en el bienestar y aprendizaje significativo de los estudiantes.

Como se ha analizado previamente, el aprendizaje es un proceso dinámico en el que factores como la atención a las actividades encomendadas, la memoria de trabajo, la motivación y la regulación emocional, por lo que los estados de fatiga cognitiva, sobrecarga sensorial o estrés sostenido afectan la consolidación del rendimiento académico. En este contexto, el uso de dispositivos vestibles que registran señales como variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC), respuesta galvánica de la piel (GSR) o patrones de actividad permite inferir estados psicofisiológicos que son relevantes para el proceso educativo.

La detección de fatiga cognitiva es de las condiciones reportadas ampliamente en los trabajos revisados, por lo que una de las estrategias que podrían aplicarse es ajustar la duración de las actividades didácticas, introducir pausas activas o modificar el ritmo de la clase (Karim, 2024). Asimismo, el monitoreo de biomarcadores como HRV y GSR ha sido empleado para identificar el estrés escolar durante evaluaciones, apoyando estrategias de regulación emocional y acompañamiento socioemocional (Guerrero-Sosa, 2025).

En la práctica las estrategias neuroeducativas basadas en monitoreo fisiológico podrían establecerse en tres etapas: adquisición mediante los dispositivos vestibles, el procesamiento y extracción de indicadores fisiológicos y la generación de retroalimentación pedagógica basada en umbrales o modelos predictivos.

Un caso de uso podría ser que el sistema detecte una disminución de la FVC junto con un incremento en la GSR; esto podría interpretarse como un estado de activación emocional elevada. El docente, al contar con esta información, podría implementar técnicas de respiración guiada, micropausas o dinámicas colaborativas para volver a captar la atención de los estudiantes. Asimismo, la implementación de modelos de aprendizaje automático permitiría evaluar dinámicas de activación cognitiva y emocional durante diferentes momentos del proceso formativo, facilitando con ello realizar ajustes pedagógicos fundamentados en evidencia objetiva.

El potencial de las estrategias neuroeducativas basadas en monitoreo fisiológico no invasivo radica en lograr la mejora de la práctica didáctica, fortaleciendo la autorregulación, reduciendo el estrés académico y fomentando entornos de aprendizaje saludables.

## **8. Retos transversales y áreas de investigación abiertas**

Con base en el análisis de los trabajos revisados, se pudo identificar que existen múltiples retos que deben superarse para consolidar la neuroeducación basada en monitoreo fisiológico no invasivo como una práctica pedagógica. Algunos de los principales retos son el diseño de metodologías de recolección de los datos, la protección de datos personales y la equidad en el acceso a las tecnologías (Zeng, 2025).

Considerando los aspectos metodológicos, se requiere implementar protocolos para la adquisición, preprocesamiento y análisis de los biomarcadores recolectados en los entornos educativos. Los protocolos que se determinen deberán tener en cuenta parámetros técnicos y los relacionados con el entorno, por ejemplo, temperatura, iluminación y ruido en el aula. Estos parámetros pueden influir en la respuesta fisiológica de los estudiantes ante las actividades realizadas en el aula. De igual manera, se deben considerar las diferencias tecnológicas de los dispositivos vestibles que se utilicen para la recolección de los biomarcadores. Es importante considerar una estrategia para incluir en el análisis factores sociodemográficos y psicológicos de los estudiantes porque estos pueden afectar la evaluación, generando sesgos en la información recolectada.

En el ámbito tecnológico, uno de los desafíos importantes radica en la integración eficiente entre las capas de la arquitectura de monitoreo y la implementación de modelos de gestión de datos que sean cercanos a los usuarios. Esto es, se debe trabajar en sistemas de análisis que puedan entregar retroalimentación al profesor de manera casi inmediata para que pueda realizar los ajustes pertinentes.

Adicionalmente, existen retos en el ámbito ético y regulatorio; el uso de datos biomédicos y cognitivos exige normativas claras en materia de consentimiento informado, gobernanza de datos y ciberseguridad. La implementación de estos sistemas debe evitar prácticas de vigilancia y etiquetado del estudiante, promoviendo en cambio un enfoque centrado en el bienestar y mejora continua del proceso formativo.

En términos de equidad, debe considerarse que la adopción de estas tecnologías puede incluso profundizar las brechas digitales en la población si no se diseñan estrategias de acceso inclusivo. El desarrollo de dispositivos y sistemas deberá siempre considerar modelos de implementación que puedan implementarse en entornos con infraestructura limitada.

Finalmente, en el ámbito pedagógico se tiene el reto de traducir los indicadores fisiológicos en estrategias de enseñanza significativas; esto es, la simple disponibilidad de datos no garantiza mejoras educativas; se requiere formación docente con las capacidades para manejar la tecnología, desarrollo de interfaces gráficas interpretables y modelos explicables que permitan comprender la relación entre estados psicofisiológicos y estrategias de enseñanza.

## **9. Conclusiones**

La revisión presentada en este capítulo pone de manifiesto que la neuroeducación constituye un enfoque interdisciplinario que integra aportes de la neurociencia, psicología y pedagogía para comprender los procesos de aprendizaje. La evidencia científica analizada confirma que factores como la atención, la regulación emocional, la carga cognitiva y el bienestar socioemocional influyen significativamente en el desempeño académico de los estudiantes. En este sentido, los principios de la neuroeducación convergen de manera natural con el modelo educativo humanista pro-

movido por La Nueva Escuela Mexicana, el cual reconoce el aprendizaje como un proceso integral que involucra dimensiones cognitivas, sociales y emocionales.

Asimismo, el desarrollo de tecnologías digitales ha abierto nuevas oportunidades para estudiar el aprendizaje en contextos educativos reales. En particular, los dispositivos vestibles y los sistemas embebidos biomédicos permiten registrar señales fisiológicas asociadas a estados cognitivos y emocionales relevantes para el proceso educativo, como la fatiga cognitiva, el estrés escolar y los niveles de atención. La integración de estos dispositivos en modelos de arquitecturas IoT y plataformas de análisis de datos permite generar indicadores objetivos que pueden apoyar en la toma de decisiones pedagógicas informadas.

No obstante, el estado del arte también revela diversos retos que deben abordarse para consolidar este campo de investigación. Entre ellos destacan la estandarización metodológica en la adquisición y análisis de señales fisiológicas, la validación de los biomarcadores utilizados, la protección de los datos personales y la necesidad de garantizar un acceso equitativo a estas tecnologías.

La neuroeducación basada en monitoreo fisiológico no invasivo es una línea de investigación emergente con alto potencial para fortalecer los procesos educativos, siempre que su implementación se realice bajo principios éticos, metodológicos y pedagógicos sólidos.

## Referencias bibliográficas

- Abbas, N., Basir, A., Shah, I. A., Iman, U. R., y Yoo, H. (2025). *Development of an efficient mid-field wireless power transmission system for biotelemetric IoT medical devices*. *Scientific Reports*, 15(1), 14889. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99609-1>
- Adomako Gyasi, P., Amu-Darko, J. N. O., Sun, B., Issaka, E., Ntim, S. Y., Enyan, M., y Hussain, S. (2025). *Nano-biosensors for continuous cognitive and stress monitoring. Applications in learning and mental well-being*. *Nano Select*, 6(11), e70024. <https://doi.org/10.1002/nano.70024>

- Alkhasawneh, S., y Al Sharif, H. (2025). *Perspectives of brain research (educational neuroscience) on the design and implementation of teaching strategies in educational technology*. *Journal of Neuroeducation*, 5(2), 14–24. <https://doi.org/10.1344/joned.v5i2.47695>
- Bhatti, A., Angkan, P., Behinaein, B., Mahmud, Z., Rodenburg, D., y Braund, H. (2025). *Clare: Cognitive load assessment in real time with multimodal data*. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 17(6). <https://doi.org/10.1109/TCDS.2025.3555517>
- Bleck, M., y Le, N.-T. (2022). *A physiology-aware learning analytics framework*. En *The multimodal learning analytics handbook*. 231–257. Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08076-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08076-0_10)
- Chung, J. W. Y. Y., So, H. C. F., Choi, M. M. T., Yan, V. C. M., y Wong, T. K. S. (2021). *Artificial intelligence in education: Using heart rate variability (HRV) as a biomarker to assess emotions objectively*. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100011>
- Ghosh, S. (2022). *Neuroeducation: Integrating brain science into teaching methods*. *International Journal for Research in Education*, 11(9), 1–8.
- Guerrero-Sosa, J. D. T., Romero, F. P., Menéndez-Domínguez, V. H., Serrano-Guerrero, J., Montoro-Montarroso, A., y Olivás, J. A. (2025). *A comprehensive review of multimodal analysis in education*. *Applied Sciences*, 15(11), 5896. <https://doi.org/10.3390/app15115896>
- Hernández-Mustieles, M. A., Lima-Carmona, Y. E., Pacheco-Ramírez, M. A., Mendoza-Armenta, A. A., Romero-Gómez, J. E., Cruz-Gómez, C. F., Rodríguez-Alvarado, D. C., Arceo, A., Cruz-Garza, J. G., Ramírez-Moreno, M. A., et al. (2024). *Wearable biosensor technology in education: A systematic review*. *Sensors*, 24(8), 2437. <https://doi.org/10.3390/s24082437>
- Hong, H., Dai, L., y Zheng, X. (2025). *Advances in wearable sensors for learning analytics: Trends, challenges, and prospects*. *Sensors*, 25(9), 2714. <https://doi.org/10.3390/s25092714>
- Karim, E., Pavel, H. R., Nikanfar, S., Hebri, A., Roy, A., Nambiappan, H. R., Jaiswal, A., Wylie, G. R., y Makedon, F. (2024). *Examining the landscape of cognitive fatigue detection: A comprehensive survey*. *Technologies*, 12(3), 38. <https://doi.org/10.3390/technologies12030038>

- Khosravi, S., Bailey, S. G., Parvizi, H., y Ghannam, R. (2022). *Wearable sensors for learning enhancement in higher education*. *Sensors*, 22(19), 7633. <https://doi.org/10.3390/s22197633>
- Orovás, C., Sapounidis, T., Volioti, C., y Keramopoulos, E. (2025). *EEG in education: A scoping review of hardware, software, and methodological aspects*. *Sensors*, 25(1), 182. <https://doi.org/10.3390/s25010182>
- Pradeep, K., Anbalagan, R. S., Thangavelu, A. P., Aswathy, S., Jisha, V. G., y Vaisakh, V. S. (2024). *Neuroeducation: Understanding neural dynamics in learning and teaching*. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1437418>
- Sakata, N., Bremner, N., y Bórquez-Morales, L. S. (2025). *The Nueva Escuela Mexicana reform in Mexico: Promises and tensions in revaluing the people's Mexico*. *International Journal of Educational Development*, 116, 103295. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2025.103295>
- Yaqoob, S., Ullah, F., AbuAli, N., Anwar, H., Saeed, N., y Hayajneh, M. (2026). *AIoT for human emotion recognition: Potentials, challenges, and healthcare applications*. *Computer Science Review*, 60, 100859. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2025.100859>
- Zeng, H., Huang, X., Liu, Y., y Gu, X. (2025). *Exploring neural evidence of attention in classroom environments: A scoping review*. *Brain Sciences*, 15(8), 860. <https://doi.org/10.3390/brainsci15080860>