



Universidad Pedagógica Experimental Libertador
Vicerrectorado de Investigación y Postgrado
Instituto Pedagógico “Rafael Alberto Escobar Lara”
Subdirección de Investigación y Postgrado

NEUROEDUCACIÓN E INGENIERÍA DE DESARROLLO HUMANO: BASES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEUDA BIOLÓGICA Y LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CONCIENCIA ÉTICA GLOBAL

Autora: Zuhec Escorche

zescorche13@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-8999-0786>

UPEL- Instituto Pedagógico de Maracay

Maracay, Aragua – Venezuela

PP. 643-661





NEUROEDUCACIÓN E INGENIERÍA DE DESARROLLO HUMANO: BASES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEUDA BIOLÓGICA Y LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CONCIENCIA ÉTICA GLOBAL

Autora: Zuhec Escorche

zescorche13@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-8999-0786>

UPEL- Instituto Pedagógico de Maracay

Maracay, Aragua – Venezuela

Recibido: Febrero 2026

Aceptado: Junio 2026

Resumen

Este artículo tiene como propósito reflexionar sobre el rol estratégico de la neuroeducación y la Ingeniería de Desarrollo Humano (IDH) para mitigar la deuda biológica y su contribución en el desarrollo de una conciencia ética global. Dicha reflexión se sustenta en una revisión de literatura especializada en neurociencia sobre el desarrollo cerebral y la plasticidad en adultos tempranos, donde se analiza la relevancia del entrenamiento de las funciones ejecutivas como fundamento neurobiológico indispensable. Se argumenta que la IDH constituye una praxis pedagógica capaz de operacionalizar la compensación biológica, al convertir la asincronía madurativa en una ventana de oportunidad educativa. Se concluye que la reducción de la deuda biológica es condición esencial para la construcción de una conciencia ética global, de la cual depende, a su vez, la posibilidad de una sostenibilidad auténtica y duradera.

Palabras clave: neuroeducación, ingeniería de desarrollo humano, deuda biológica, funciones ejecutivas, conciencia ética global.

NEUROEDUCATION AND HUMAN DEVELOPMENT ENGINEERING: BASES FOR THE REDUCTION OF THE BIOLOGICAL DEBT AND THE CONSTRUCTION OF A GLOBAL ETHICAL CONSCIOUSNESS

Abstract

This article aims to reflect on the strategic role of neuroeducation and Human Development Engineering (HDE) to mitigate the biological debt and its contribution to the development of a global ethical consciousness. This reflection is based on a review of



specialized neuroscience literature on brain development and plasticity in early adults, analyzing the relevance of executive functions training as an indispensable neurobiological foundation. It is argued that HDE constitutes a pedagogical praxis capable of operationalizing biological compensation by turning maturational asynchrony into a window of educational opportunity. It is concluded that the reduction of the biological debt is an essential condition for the construction of a global ethical consciousness, on which, in turn, the possibility of an authentic and lasting sustainability depends.

Key words: neuroeducation, human development engineering, biological debt, executive functions, global ethical consciousness.

Introducción

La neuroeducación ofrece un marco conceptual que permite comprender cómo aprende el cerebro y específicamente conocer como la asincronía cerebral y la falta de entrenamiento intencional de la corteza prefrontal han generado una vulnerabilidad cognitiva y ética que debe ser corregida (Casey et al., 2008; Mora, 2017).

La crisis contemporánea, caracterizada por el colapso climático, la inequidad social y la polarización cultural y la sobreexposición tecnológica que incide directamente en la fragmentación de la atención, exige un ciudadano capaz de deliberar a largo plazo, de regular sus emociones en contextos de incertidumbre y de actuar con una conciencia ética sustentada en la empatía y la cooperación (Nussbaum, 2012; Zelazo, 2024).

En este texto de reflexión, se propone examinar la Ingeniería de Desarrollo Humano (IDH) como un marco de diseño pedagógico con tres propósitos interdependientes: (a) saldar la deuda biológica en sus dimensiones cognitiva, emocional, metabólica, corporal, ética e identitaria; (b) revertir la vulnerabilidad ética institucionalizada que perpetúa el cortoplacismo y; (c) cultivar la soberanía del ser como condición para una conciencia ética global sostenible.

Ante la asincronía madurativa (Casey et al., 2008), que la bimodalidad educativa podría exacerbar al incrementar las demandas atencionales y de autorregulación (Ochs et

al., 2024), es imperativo transitar hacia una pedagogía basada en la estimulación intencional de la arquitectura prefrontal (Diamond, 2013).

La IDH se entiende como un marco de diseño pedagógico integral que integra hallazgos de la neurociencia, la ingeniería de factores humanos y el pensamiento complejo, con el propósito de diseñar condiciones que posibiliten el florecimiento humano. A diferencia de otros enfoques instruccionales centrados en la optimización del rendimiento académico, la IDH se orienta a saldar la llamada deuda biológica restaurando los ritmos naturales y las bases neurobiológicas que hacen posible el aprendizaje autónomo, la agencia ética y la soberanía del Ser (Castellanos, 2022).

La crisis civilizatoria actual no es únicamente climática o económica; en su raíz, también constituye una crisis de percepción y de funcionamiento cognitivo, al percibirse una desconexión entre el ser humano y los ritmos de la naturaleza, lo que ha generado un desequilibrio que hoy denominamos deuda biológica. Por lo tanto, el presente ensayo explora cómo la neuroeducación contribuye a optimizar el desarrollo del cerebro y específicamente sus funciones ejecutivas (Diamond, 2013), lo cual se convierte en una herramienta fundamental para saldar esta deuda y construir una conciencia ética global. Por ello, se propone la ingeniería de desarrollo humano (IDH) como el marco pedagógico que articula estos hallazgos en una praxis transformadora.

El análisis que sigue explora cómo la articulación entre la neuroeducación y la IDH puede saldar la deuda biológica heredada, devolviendo al joven la capacidad de autogobierno y transformando el aula en un espacio de formación integral para enfrentar la incertidumbre y desafíos del siglo XXI.

A lo largo del artículo se asume la sostenibilidad como la capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer el bienestar de las futuras generaciones; sin embargo, no es un punto de partida, sino un punto de llegada. Para poder alcanzarla no solo debemos de garantizar factores externos como socioeconómicos y culturales, sino que exige profundizar en factores internos como el desarrollo del ser humano. Esto último

vinculado a la restauración de sus bases neurobiológicas y éticas que hacen posible la conciencia y la acción sostenible.

La posibilidad de una auténtica sostenibilidad reside en una conciencia ética global que integre lo neurobiológico, lo relacional y lo propiamente ético, donde lo medular sea un nuevo modo de percibir, deliberar y actuar que articule la empatía, la planificación a largo plazo y la responsabilidad hacia lo vivo. Entre los aspectos principales de dicha reflexión se abordan los siguientes temas: la relación entre sostenibilidad y desarrollo humano, neuroeducación como herramienta para la sostenibilidad, la deuda biológica, plasticidad y funciones ejecutivas, y conclusiones del estudio.

Metodológicamente, se plantea un ensayo de reflexión teórica, cuya base documental que lo sustenta proviene de una indagación en fuentes académicas, en la que se han considerado publicaciones en inglés y español entre 2008 y 2025. Se utilizaron términos como *neuroeducación*, *funciones ejecutivas*, *plasticidad cerebral* y *desarrollo sostenible*.

La selección de fuentes priorizó artículos revisados por pares, capítulos de libro de editoriales académicas y documentos de organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

El análisis se orientó a identificar convergencias entre los hallazgos neurocientíficos y las necesidades educativas para la sostenibilidad. El método es una indagación documental de carácter reflexivo, lo que permite centrar el análisis en la construcción de una tesis central, la de la *IDH como praxis pedagógica*.

La IDH propone un enfoque radicalmente distinto a otros diseños y metodologías. Su énfasis es en restaurar las seis condiciones que revierten la deuda biológica que hacen posible el aprendizaje mismo, la IDH mantiene que dichas condiciones deben ser cultivadas intencionalmente a través de intervenciones que salden la llamada deuda



biológica. En este sentido, la IDH no es una extensión de los marcos existentes, sino un cambio de enfoque: del diseño de contenidos al diseño de condiciones de posibilidad para el desarrollo humano integral.

Sostenibilidad desde el Desarrollo Humano

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (2023), el desarrollo sostenible “implica cómo debemos vivir hoy si queremos un futuro mejor, ocupándose de las necesidades presentes sin comprometer las oportunidades de las generaciones futuras de cumplir con las suyas” (párr. 1). En este sentido, la supervivencia del planeta depende en gran medida del comportamiento humano para avanzar hacia el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS).

Desde una visión integral, la sostenibilidad no se limita al ahorro de recursos externos, sino que exige una *eficiencia metabólica cerebral*. Ello se basa en la premisa de que un cerebro que presenta deuda biológica, caracterizada, entre otros factores, por estrés crónico, fatiga cognitiva y desregulación emocional es metabólicamente ineficiente y, por lo tanto, biológicamente incapaz de sostener conductas prosociales a largo plazo, entre ellas las que fomentan el cuidado de los ecosistemas.

En relación con ello, Aznar y Barrón (2017) señalan que el Desarrollo Humano Sostenible (DHS) “se perfila como propuesta de avance ante una crisis civilizatoria de una complejidad y envergadura nada fácil de resolver” (p. 1). Este desarrollo imprime un componente ético importante en una sociedad global cada día más en riesgo por los desequilibrios socioambientales. Desde esta base, es posible vincular los cambios en el desarrollo humano con los aportes de la neurociencia, como se explorará en este artículo de reflexión. En concordancia con esta reflexión, Bueno (2017) aporta evidencia desde la neurociencia aplicada a la educación al demostrar que los procesos de aprendizaje y desarrollo cerebral no pueden entenderse al margen de la interacción social y cultural. De esta manera, lo biológico y lo social constituyen una unidad indisoluble.



En este campo, la complejidad e interdisciplinariedad de la neurociencia permiten hacer aportes significativos en la comprensión del impacto humano en su espacio vital. Investigadores como Bullón (2017) y Pherez et al. (2018) coinciden en que la integración de los hallazgos neurocientíficos en la práctica educativa transforma la comprensión tradicional del aprendizaje, superando los modelos centrados exclusivamente en la transmisión de contenidos. Esta transformación es condición necesaria para formar ciudadanos capaces de responder a los desafíos de la sostenibilidad planetaria.

De allí que, en la comprensión interdisciplinaria del desarrollo humano, el componente de sostenibilidad se ha limitado tradicionalmente a la gestión de recursos externos. Sin embargo, una visión integral sugiere que no puede haber un planeta sostenible sin seres humanos biopsicosocialmente equilibrados, cuyo desarrollo sea abordado con bases biológicas avanzadas.

En el ámbito del desarrollo humano sostenible, la acción de nuestra especie implica cultivar capacidades que permitan a los individuos florecer sin comprometer las bases biológicas de las futuras generaciones, tal y como ha sido planteado desde el enfoque de capacidades de (Nussbaum, 2012). Esto requiere un cambio de paradigma que implica pasar de un *antropocentrismo depredador* a un *biocentrismo consciente*.

El primero concibe la naturaleza como un recurso a disposición del ser humano; mientras que el segundo, por el contrario, reconoce que la salud del planeta es indisoluble de la salud biológica y cognitiva de quienes lo habitan. Las prácticas asociadas a la sostenibilidad comienzan en el interior del ser, principalmente en el equilibrio de nuestros sistemas biológicos y en la calidad de nuestra arquitectura cerebral.

Neuroeducación y conciencia ética global

La construcción de una conciencia ética global, entendida como la capacidad de deliberar y actuar considerando el bienestar de las generaciones presentes y futuras, es condición necesaria para la sostenibilidad. En esta sección se explora cómo la





neuroeducación, al fortalecer las funciones ejecutivas y la regulación emocional, sienta las bases neurobiológicas para dicha conciencia.

En el campo del desarrollo humano, dentro de los procesos neurobiológicos, las capacidades que no se desarrollan durante la era crítica de reorganización cerebral que Mousley y Astle (2025) sitúan entre los 9 y los 32 años, quedan limitadas. Al carecer de las competencias necesarias para la planificación y la autorregulación, los individuos quedan anclados a patrones de gratificación instantánea y cortoplacismo.

Este déficit no solo debilita el tejido social presente, sino que se transmite a las generaciones futuras, profundizando la deuda biológica y condicionando la capacidad de acción ética ante los desafíos de un mundo dinámico. Es decir, la neuroeducación actúa como el puente que transforma la estructura cognitiva para que la empatía hacia lo vivo sea una respuesta biológica natural.

La raíz de esta problemática reside en una educación tradicional que ha priorizado la memorización y la transmisión de contenidos informativos por encima del modelado de la arquitectura cerebral. En este sentido, Pherez, Vargas y Jerez (2018) sostienen que la neuroeducación representa una nueva tendencia que rompe el modelo del profesor tradicional, constituyéndolo en un neuroeducador.

Esta omisión de los procesos neurobiológicos subyacentes institucionaliza una vulnerabilidad lo que en este artículo denominamos deuda biológica, que compromete las seis dimensiones anteriormente mencionadas, ya que el sistema educativo actual falla al no atender de manera integral dichas dimensiones, limitándose a ignorar, entre otros aspectos, el desarrollo intencional de la corteza prefrontal y sus funciones ejecutivas.

Frente a esta omisión, la neuroeducación surge como la disciplina que tiende un puente entre las neurociencias, la psicología y la pedagogía. Su rol es comprender cómo el cerebro aprende a interactuar con su entorno y el impacto de estas interacciones para el

bienestar colectivo. Este carácter interdisciplinario constituye una ventaja para plantear diversas estrategias que beneficien el desarrollo neuroeducativo.

Al aplicar los hallazgos de la neurociencia en espacios educativos, podemos fomentar el desarrollo de lo que Favela (2024) denomina *cerebro ecológico*. Desde su Teoría del Nexo Neuroecológico, dicho autor propone un marco unificado que integra cerebro, cuerpo y entorno para explicar la conducta inteligente, y argumenta que el cerebro no tiene función sin el cuerpo y el nicho ambiental que ocupa. Esta perspectiva implica que el proceso educativo no solo transmite información sobre acciones ambientales positivas, sino que transforma la estructura cognitiva del ser humano, lo que hace que la empatía hacia lo vivo sea una respuesta biológica natural.

En suma, la neuroeducación no contribuye directamente a la sostenibilidad, sino que construye la capacidad neurocognitiva y la conciencia ética global de la cual la sostenibilidad depende. La empatía y el cuidado del otro, la planificación a largo plazo y la responsabilidad hacia lo vivo no son meros ideales morales (Nisan, 2004; Porges, 2011). Por el contrario, son capacidades biológicas que requieren un cerebro regulado, con una corteza prefrontal funcional y un sistema nervioso autónomo en equilibrio. Un cerebro bajo deuda biológica es incapaz de sentir compasión por el prójimo o por el planeta, pues su funcionamiento queda atrapado en la gratificación inmediata y la reactividad impulsiva. Sin un cerebro entrenado en la planificación a largo plazo, la autorregulación y la empatía, cualquier acción sostenible es biológicamente insostenible.

La Deuda Biológica

Para comprender la deuda biológica es necesario partir de la asincronía neurobiológica en el desarrollo cerebral. Casey (2008) explicó que las estructuras límbicas y el sistema de recompensa, vinculados a la gratificación instantánea, maduran con antelación, mientras que la corteza prefrontal tarda más de dos décadas en mielinizarse por completo. Esta asincronía neurobiológica predispone al individuo al cortoplacismo y dificulta la toma de decisiones éticas con visión de futuro.

De manera complementaria, Mousley y Astle (2025) han demostrado que el cerebro humano atraviesa reorganizaciones críticas a los 9, 32, 66 y 83 años. La etapa comprendida entre los 9 y los 32 años resulta especialmente significativa, pues coincide con la maduración progresiva de la corteza prefrontal y con la consolidación de las funciones ejecutivas.

El punto de inflexión de los 32 años es vital, ya que marca la consolidación final de la mielinización, cerrando la ventana de oportunidad para que la educación superior pueda compensar la deuda biológica. Por tanto, para reducir esta deuda, se requiere atender múltiples dimensiones del desarrollo, entre ellas la higiene del sueño, la nutrición, el ejercicio físico, la regulación del estrés, el entrenamiento de funciones ejecutivas y el cultivo de la empatía, como condiciones necesarias para el bienestar humano y el desarrollo integral.

El hallazgo de Mousley y Astle (ob cit.) confirma que la formación en esos años es decisiva para la compensación de la deuda biológica, pues la plasticidad cerebral y la capacidad de reorganización permiten que las experiencias educativas intencionales tengan un impacto duradero en la autorregulación, la planificación y la conciencia ética. Por consiguiente, la educación media, universitaria y la formación docente se convierten en espacios privilegiados para aprovechar esta ventana de desarrollo y fortalecer las competencias necesarias para la sostenibilidad.

Desde una perspectiva ético-filosófica, Nussbaum (2012) sostiene que la justicia exige garantizar el acceso a dos capacidades fundamentales: *la razón práctica y la afiliación*. Estas capacidades dependen directamente del desarrollo y el entrenamiento de las funciones ejecutivas y, por tanto, de la corteza prefrontal. En este sentido, la falta de desarrollo intencional de estas estructuras genera una profunda injusticia al limitar el potencial ético y la autonomía de los estudiantes.

La deuda biológica se refiere a un costo asociado a los modos y estilos de vida de la modernidad, caracterizados en su mayoría por el estrés, la privación de sueño, la mala



alimentación y el sedentarismo, lo cual se impone sobre nuestro organismo (Araki et al., 2024; Mousley y Astle, 2025). Estos hábitos han desarrollado una serie de patologías en los seres humanos, que han impactado negativamente los sistemas de vida, en mayor grado en las áreas urbanas.

Como se ha señalado, diversos estudios confirman las consecuencias de estos daños en los procesos de memoria y aprendizaje, así como en la regulación emocional (Diamond, 2013; Zelazo, 2024). Por tanto, reducir esta deuda es un acto de justicia hacia nosotros mismos y hacia el ecosistema, ya que un cerebro bajo estrés constante es incapaz de proyectar soluciones a largo plazo o de sentir compasión por el prójimo, mucho menos por el planeta que habita (Casey et al., 2008; Nussbaum, 2012).

A las causas ya señaladas se le suma el uso de tecnologías digitales sin un filtro neurocientífico. La hiperestimulación constante, la fragmentación atencional inducida por notificaciones y la exposición a luz azul que altera los ritmos circadianos profundizan aún más la deuda biológica, especialmente en poblaciones jóvenes.

La neuroeducación debe priorizar la salud del cerebro (sueño, nutrición, contacto con la naturaleza) como condición previa para cualquier aprendizaje sobre sostenibilidad. En esta línea, la Recomendación sobre la Ética de la Neurotecnología (UNESCO, 2025a) establece salvaguardas explícitas para proteger a la población infantil y juvenil, cuyo cerebro se encuentra en desarrollo, limitando el uso no terapéutico de la neurotecnología en estos grupos. Con una visión hacia el futuro, se busca reducir la deuda biológica mediante la liberación de recursos cognitivos que actualmente están dedicados a la supervivencia en entornos estresantes, permitiendo que el ser humano se enfoque en la colaboración y la preservación del ecosistema global (Diamond, 2013).

La IDH propone, en este contexto, una pedagogía de la esperanza. No se trata solo de compensar el daño, sino de recuperar los ritmos naturales que la modernidad ha quebrado. El sueño reparador, la alimentación consciente, el contacto con la naturaleza y la desconexión digital no son actividades complementarias al aprendizaje: son condiciones



de posibilidad del aprendizaje mismo. La neuroplasticidad no es solo un concepto técnico; es la prueba científica de que siempre podemos desaprender hábitos destructivos y consolidar nuevas conductas éticas hacia uno mismo, hacia los demás y hacia el planeta.

Plasticidad y funciones ejecutivas

Más allá de los cambios en la arquitectura física, la reducción de la deuda biológica se apoya en la plasticidad funcional, mientras que la plasticidad estructural modifica la anatomía; la funcional permite una reasignación estratégica de recursos cognitivos, esto es, la capacidad del cerebro para reclutar redes neuronales de soporte ante demandas de alta complejidad ética o técnica (Araki et al. 2024; Diamond, 2013). En este contexto, las funciones ejecutivas se presentan como la respuesta neuroeducativa para enfrentar la deuda biológica. Diamond (2013) las define como procesos cognitivos superiores que permiten al individuo controlar su conducta, dirigir su pensamiento y regular sus emociones para alcanzar metas a largo plazo. Estas funciones, orquestadas por la corteza prefrontal, constituyen la base del aprendizaje autorregulado y de la acción ética.

La relación entre funciones ejecutivas y carga cognitiva

La Teoría de la Carga Cognitiva (Sweller, 2010) explica que la memoria de trabajo tiene una capacidad limitada. Cuando la demanda de procesamiento supera esa capacidad, se produce sobrecarga cognitiva y el aprendizaje se bloquea. Las funciones ejecutivas son el mecanismo que permite gestionar esa capacidad limitada. Sin el control inhibitorio, la memoria de trabajo se satura con distracciones; sin la flexibilidad cognitiva, no se puede reorganizar la información para reducir su complejidad. Pero veamos esto con un poco más detalle.

En cuanto al *Control inhibitorio*, su función es filtrar la información irrelevante. Desde la teoría de Sweller, el control inhibitorio protege la memoria de trabajo de la carga cognitiva extrínseca (distracciones, ruido, información superflua). Sin este filtro, la memoria de trabajo se colapsa antes de procesar lo importante.

Respecto a la *Memoria de trabajo*, se trata del espacio donde se procesa la información en tiempo real. Sweller (2010) demuestra que su capacidad es limitada (aproximadamente 4-7 elementos). La carga cognitiva intrínseca (la complejidad propia del contenido) debe ser gestionada mediante fragmentación, secuenciación y andamiaje; de lo contrario, la memoria de trabajo se sobrecarga y el aprendizaje no ocurre.

Finalmente, sobre la *Flexibilidad cognitiva*, la misma permite cambiar de perspectiva, integrar nueva información con conocimientos previos y transferir aprendizajes a contextos novedosos. Esta función es la base de la carga cognitiva germinal, el procesamiento profundo que genera aprendizaje duradero y transferible. Sin flexibilidad cognitiva, el aprendizaje se vuelve rígido y dependiente del contexto original.

En atención a lo anterior, las funciones ejecutivas son los mecanismos neurocognitivos que permiten gestionar la carga cognitiva. Sin control inhibitorio, la memoria de trabajo se satura. Sin memoria de trabajo, no hay procesamiento. Sin flexibilidad cognitiva, no hay aprendizaje profundo. Por tanto, entrenar las funciones ejecutivas es la vía para optimizar la gestión de la carga cognitiva en el aula.

De esta manera, Diamond subraya que estas funciones son entrenables mediante experiencias educativas desafiantes, juegos, música, actividad física y metodologías activas. Zelazo (2024) complementa esta visión al mostrar que el fortalecimiento de las funciones ejecutivas potencia la resiliencia socioemocional, la empatía y la capacidad de cooperación, competencias indispensables para la sostenibilidad y la justicia social.

Asimismo, Araki et al. (2024) demostraron que la plasticidad adulta se mantiene activa en múltiples sitios sinápticos, lo que legitima la posibilidad de compensar la deuda biológica mediante programas educativos intencionales. Finalmente, la UNESCO (2025a) ha planteado que el acceso al entrenamiento de funciones ejecutivas constituye un neuroderecho, indispensable para garantizar justicia cognitiva y sostenibilidad global.



Un componente importante es la neuroplasticidad, como la capacidad del cerebro para reorganizarse ante los estímulos del entorno. Por tanto, su mejor funcionamiento constituye una esperanza para la sostenibilidad, lo que significa que podemos desaprender hábitos destructivos y cablear nuevas conductas éticas hacia comportamientos ecoamigables.

Las funciones ejecutivas, situadas en la corteza prefrontal, son el centro de mando que nos permite frenar impulsos consumistas inmediatos, encontrar soluciones creativas a problemas ambientales y mantener presente el impacto futuro de nuestras acciones presentes al evaluar sus riesgos y beneficios (Diamond, 2013). De esta forma, fortalecer estas funciones mediante la neuroeducación permite que la ética global no sea un concepto abstracto, sino una capacidad operativa del cerebro humano en evolución (Zelazo, 2024). Finalmente, la recomendación sobre la *ética de la neurotecnología* (UNESCO, 2025b) consagra nuevos derechos humanos aplicables al ámbito educativo: la privacidad mental, la integridad mental y la libertad cognitiva.

La plasticidad funcional permite al cerebro reclutar redes neuronales de soporte y aumentar los niveles de BDNF (factor neurotrófico derivado del cerebro), fortaleciendo así la citoarquitectura neuronal ante demandas éticas. Como demostraron Araki et al. 2024, la plasticidad adulta se mantiene activa en múltiples sitios sinápticos, lo que legitima el uso de la IDH para compensar la deuda biológica. Por ello, la libertad cognitiva implica no solo la protección frente a interferencias externas, sino también el derecho a desarrollar la propia capacidad de autogobierno. En este sentido, entrenar las funciones ejecutivas no es un acto de optimización técnica, sino un acto de justicia ya que devuelve al joven la soberanía sobre su propia mente y lo libera de la tiranía del cortoplacismo inducido por un cerebro bajo deuda biológica.

Conclusiones

La presente reflexión ha sostenido que la reducción de la deuda biológica y por ende la construcción de una conciencia ética global requiere de una mirada multidimensional

que supere el aspecto privilegiado en la educación tradicional como es el desarrollo cognitivo. La necesidad de interrelación de las seis dimensiones: metabólicas, emocionales, corporales, cognitivas, éticas e identitarias resultan una condición indispensable para el desarrollo humano sostenible.

Desde la perspectiva neuroeducativa, las funciones ejecutivas como son: el control inhibitorio, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, se constituyen como un componente central, ya que su entrenamiento intencional fortalece la autorregulación, la planificación a largo plazo y la capacidad de deliberación ética.

Sin embargo, su capacidad de desarrollo en los ambientes educativos no es suficiente por sí solo. Porque, la deuda biológica también exige atender otras variables fundamentales como: la higiene del sueño, la nutrición, el ejercicio físico, la regulación del estrés, el cultivo de la empatía y el cuidado del otro, así como la recuperación de los ritmos naturales que la modernidad ha desequilibrado.

La asincronía madurativa entre el sistema límbico y la corteza prefrontal, lejos de ser un defecto biológico, representa una ventana de oportunidad pedagógica que el sistema educativo debe aprovechar durante la etapa crítica comprendida entre los 9 y los 32 años. En este marco, la educación media, universitaria y la formación docente se convierten en espacios privilegiados para implementar intervenciones que integren lo biológico, lo cognitivo, lo emocional, lo corporal, lo identitario y lo ético.

Un hallazgo central de este análisis es que la reducción de la deuda biológica no solo mejora la capacidad cognitiva individual, sino que libera recursos atencionales y emocionales necesarios para conductas prosociales y ecológicamente sostenibles. Un cerebro que no está ocupado en el estrés crónico puede dedicarse a la colaboración, la empatía y la planificación a largo plazo. Por ello, la neuroeducación no contribuye directamente a la sostenibilidad, sino que construye la capacidad neurocognitiva y la conciencia ética global de la cual la sostenibilidad depende.



Desde una perspectiva paradigmática, se ha propuesto transitar de un antropocentrismo depredador a un biocentrismo consciente, donde las prácticas asociadas a la sostenibilidad comienzan en el interior del ser, en el equilibrio de nuestros sistemas biológicos y en la calidad de nuestra arquitectura cerebral, antes de proyectarse al entorno. Esto implica un cambio profundo en las políticas curriculares, que deben priorizar no solo el entrenamiento ejecutivo, sino también pausas activas, regulación emocional, educación postural, contacto con la naturaleza y metodologías que respeten la carga cognitiva de los estudiantes entre otras. La IDH se ha propuesto aquí como una praxis pedagógica que operacionaliza estos hallazgos en el diseño de experiencias de aprendizaje. Más que una herramienta de optimización del rendimiento, la IDH se constituye como un marco ético y transformador que busca saldar la deuda biológica en sus múltiples dimensiones.

Al tratarse de artículo teórico-reflexivo y no de un estudio empírico, pues no se han medido directamente los efectos de las estrategias propuestas en la reducción de la deuda biológica, ni se han validado experimentalmente las intervenciones multidimensionales; queda abierta la necesidad de investigaciones aplicadas que traduzcan estos principios en protocolos de aula medibles; integrando indicadores cognitivos, emocionales, metabólicos, corporales, éticos e identitarios.

Futuras investigaciones deberán orientarse a la sistematización de experiencias educativas que integren la neuroeducación y la IDH, así como al diseño de instrumentos que permitan evaluar la eficiencia cognitiva, el bienestar emocional, la salud metabólica, la conciencia corporal, la sensibilidad ética y la cohesión identitaria derivados de estas prácticas.

Para operacionalizar la IDH más allá de la declaración de principios, se proponen los siguientes indicadores teóricos que podrían guiar futuras investigaciones y evaluaciones. En la dimensión cognitiva, se esperaría una mejora en las funciones ejecutivas (memoria de trabajo, control inhibitorio, flexibilidad cognitiva), medible mediante pruebas estandarizadas y observación de aula. En la dimensión emocional, se esperaría una



reducción de la reactividad impulsiva y un aumento de la regulación emocional, evaluable mediante autorreportes y registro de conductas. En la dimensión metabólica, se esperaría una mejora en los hábitos de sueño, nutrición y actividad física, registrable mediante diarios de higiene del sueño y alimentación.

En la dimensión corporal, se esperaría un aumento de la conciencia interoceptiva y la regulación postural, observable en ejercicios de respiración y postura. En la dimensión ética, se esperaría un incremento de conductas prosociales, empatía y cuidado del otro, evaluable mediante observación de interacciones y autorreportes. Finalmente, en la dimensión identitaria, se esperaría una mayor coherencia narrativa, sentido de agencia y propósito, reflejados a través de entrevistas narrativas, diarios reflexivos y proyectos de vida. Estos indicadores, de orden teórico, requieren validación empírica en futuras investigaciones.

Finalmente, la conciencia ética global no surge por decreto ni por transmisión de contenidos. Emerge del desarrollo óptimo de la corteza prefrontal, del entrenamiento de la autorregulación, del cuidado del cuerpo como sustrato del aprendizaje, de la restauración de los ritmos biológicos y del cultivo intencional de la empatía y la responsabilidad hacia lo vivo. En este sentido, la neuroeducación y la IDH no son opciones metodológicas, sino imperativos de justicia cognitiva, emocional, corporal y ética, así como condiciones necesarias para la sostenibilidad planetaria.

Referencias

- Araki, Y., Rajkovich, K. E., Gerber, E. E., Gamache, T. R., Johnson, R. C., Tran, T. H. N., Liu, B., Zhu, Q., Hong, I., Kirkwood, A., & Haganir, R. (2024). SynGAP regulates synaptic plasticity and cognition independently of its catalytic activity. *Science*, 383. <https://doi.org/10.1126/science.adk1291>
- Aznar, P., y Barrón, Á. (2017). El desarrollo humano sostenible: un compromiso educativo. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 29(1), 25-53. <https://doi.org/10.14201/teoredu291253>
- Bueno, D. (2017). *Neurociencia aplicada a la educación*. Síntesis.



- Bullón Gallego, I. (2017). La neurociencia en el ámbito educativo. *Revista Internacional de apoyo a la inclusión, logopedia, sociedad y multiculturalidad*, 3(4), 118-128. <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/riai/article/view/4251>
- Casey, B. J., Getz, S., & Galvan, A. (2008). The adolescent brain. *Developmental Review*, 28(1), 62-77. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.08.003>
- Castellanos, N. (2022). *Neurociencia del cuerpo: Cómo el organismo esculpe el cerebro*. Kairós.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Favela, L. H. (2024). *The Ecological Brain: Unifying the Sciences of Brain, Body, and Environment*. Routledge.
- Mora, F. (2017). *Neuroeducación: Solo se puede aprender aquello que se ama*. Alianza Editorial.
- Mousley, A., & Astle, D. E. (2025, noviembre 26). *The five eras of the human brain*. University of Cambridge. <https://www.robinson.cam.ac.uk/news/five-eras-human-brain>
- Nisan, M. (2004). Judgment and choice in moral functioning. En D. K. Lapsley & D. Narvaez (Eds.), *Moral development, self, and identity* (123-148). Lawrence Erlbaum Associates. https://www.researchgate.net/publication/232565246_Moral_development_self_and_identity
- Nussbaum, M. C. (2012). *Crear capacidades: Propuesta para el desarrollo humano*. Paidós.
- Ochs, C., Gahrman, C., & Sonderegger, A. (2024). Learning in hybrid classes: the role of off-task activities. *Scientific Reports*, 14(1), 1629. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50962-z>
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2023/08/what-is-sustainable-development/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2025a). *Ethics of neurotechnology: UNESCO adopts the first global standard in the cutting-edge technology*. <https://www.unesco.org/en/articles/ethics-neurotechnology-unesco-adopts-first-global-standard-cutting-edge-technology>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2025b). Recomendación sobre la Ética de la Neurotecnología. <https://www.unesco.org/en/articles/ethics-neurotechnology-unesco-adopts-first-global-standard-cutting-edge-technology>
- Pherez, G., Vargas, S., & Jerez, J. (2018). Neuroaprendizaje, una propuesta educativa: herramientas para mejorar la praxis del docente. *Civilizar. Ciencias sociales y Humanas*, 18(34), 149-166. <https://doi.org/10.22518/usergioa/jour/ccsh/2018.1/a10>



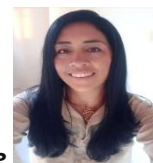


Porges, S. W. (2011). *The polyvagal theory: Neurophysiological foundations of emotions, attachment, communication, and self-regulation*. W. W. Norton & Company.

Sweller, J. (2010). Cognitive load theory: Recent theoretical advances. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511844744.004>

Zelazo, P. D., Calma-Birling, D., & Galinsky, E. (2024). Fostering executive-function skills and promoting far transfer to real-world outcomes: The importance of life skills and civic science. *Current Directions in Psychological Science*, (33), (2), 121-127. <https://doi.org/10.1177/09637214241229664>

Síntesis curricular



Zuhec Escorche

Profesora de Neurociencias y Educación y Magíster en Desarrollo Sostenible de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador – Instituto Pedagógico “Rafael Alberto Escobar Lara”. Investigadora y Profesional de la Educación con una sólida trayectoria de 18 años. Con experticia en la neurociencia aplicada a la educación, utilizando la integración metodológica de la neurociencia del cuerpo, la neurociencia cognitiva y la neurociencia social como fundamento para el desarrollo didáctico de proyectos educativos. Su enfoque se articula en tres procesos fundamentales: el fortalecimiento cognitivo, la neuroinclusión y estrategias pedagógicas de alta calidad con énfasis en la neuroprotección para la salud cerebral integral.