

CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE PUEBLA



# NEUROEDUCACIÓN COMO HERRAMIENTA EPISTEMOLÓGICA

FABIO MORANDÍN - AHUERMA



**Gobierno de Puebla**  
*Hacer historia. Hacer futuro.*



**Secretaría  
de Educación**

**CONCYTEP**  
Consejo de Ciencia  
y Tecnología del Estado  
de Puebla



# NEUROEDUCACIÓN COMO HERRAMIENTA EPISTEMOLÓGICA

FABIO MORANDÍN - AHUERMA



**Gobierno de Puebla**  
*Hacer historia. Hacer futuro.*



Secretaría  
de Educación

**CONCYTEP**  
Consejo de Ciencia  
y Tecnología del Estado  
de Puebla

Miguel Barbosa Huerta  
*Gobernador Constitucional del Estado de Puebla*

María del Rosario Orozco Caballero  
*Presidenta del Sistema Estatal para el Desarrollo Integral de la Familia*

Ana Lucia Hill Mayoral  
*Secretaria de Gobernación del Estado de Puebla*

Sergio Salomón Céspedes Peregrina  
*Presidente de la Junta de Gobierno y Coordinación Política  
H. Congreso del Estado Libre y Soberano de Puebla*

Héctor Sánchez Sánchez  
*Presidente del Tribunal Superior de Justicia del Estado de Puebla*

Victoriano Gabriel Covarrubias Salvatori  
*Director General del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla*

Luis Gerardo Aguirre Rodríguez  
*Responsable del Área de Publicaciones*

Eduardo Jáuregui Sainz de Rozas  
*Corrector de estilo*

Luis Gerardo Aguirre Rodríguez  
*Diseño editorial*

Primera edición, México, 2022

Publicado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP)  
B Poniente de la 16 de septiembre 4511, Col. Huexotitla, 72534. Puebla, Pue.

**ISBN: 978-607-8839-78-0**

La información contenida en este documento puede ser reproducida total o parcialmente por cualquier medio, indicando los créditos y las fuentes de origen respectivas.









## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Victoriano Covarrubias Salvatori, director general del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP) por su invaluable apoyo para la publicación de este libro, sus palabras de presentación, y por el impulso que le está dando en el Estado a la construcción de una sociedad plural y democrática del conocimiento.

A mi mentora, Dra. Arlen Salles, del Programa de Neuroética del CIF Buenos Aires e Investigadora del Center for Research Ethics and Bioethics (CRB) de la Universidad de Upsala, Suecia, y del Human Brain Project (HBP) de la Unión Europea.

Al Dr. Diego Mauricio Bonilla Jurado, de la Universidad Tecnológica Indoamérica de Quito, Ecuador; al Dr. Humberto Mamani Coaquira, de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Perú; y al Mtro. Emanuel Cabildo González, de la Universidad Pedagógica Nacional, por sus amables consejos y comentarios al primer borrador.

A los revisores externos en el proceso anónimo pares ciego por sus observaciones críticas y recomendaciones generales y específicas para la versión final.

A la Dra. María Elena Álvarez-Buylla Roces, directora del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del Sistema Nacional de Investigadores (SNI); y a la Dra. Lilia Cedillo Ramírez, rectora de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), porque hacen posible mi dedicación académica de tiempo completo al trabajo de investigación y docencia. Al Dr. Sergio Díaz Carranza, director del Complejo Regional Nororiental de la BUAP, por su apoyo permanente a la investigación y las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto.

Al Cuerpo Académico BUAP-CA-354 “Estudios Regionales Transdisciplinarios” por sus recomendaciones y acompañamiento, al Mtro. Abelardo Romero Fernández y a la Mtra. Laura Villanueva Méndez.

A mi familia, por su amor y apoyo incondicional.



## PRESENTACIÓN

Dentro de las directrices para la transformación que vislumbra el Plan Nacional de Desarrollo, y en concordancia con el Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024, el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP) ha sido un instrumento de cambio e impulso de políticas públicas para coadyuvar —con una visión macro— en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, donde nuestro país está llamado a jugar un papel preponderante de cara al futuro.

Durante la administración del Lic. Miguel Barbosa Huerta, hemos cumplido de manera responsable con la misión encomendada de vincular los diferentes sectores público, productivo, académico, ambiental y social, constituyendo redes interdisciplinarias incluyentes para solucionar problemas específicos.

Para ello, entre las acciones realizadas, destacan: el cultivar vocaciones científicas tempranas entre la infancia y juventud poblanas; otorgar becas, apoyos y estímulos que promuevan la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación; la difusión y divulgación de la cultura científica, tecnológica y humanística; así como la firma de convenios de colaboración con los sectores productivo, social y académico... Todo lo anterior para fomentar el desarrollo de la ciencia e impulsar programas y proyectos de investigación alineados a las necesidades prioritarias de nuestro estado.

Una de las preocupaciones más sensibles de esta administración ha sido la educación, y muestra de ello es la obra que tengo el honor de presentar. En el CONCYTEP nuestra tercera estrategia ha sido vincular el conocimiento para disminuir las desigualdades. “La teoría sin práctica es inútil, pero la práctica sin teoría es ciega”, es una frase que suele atribuírsele a Kant y que encierra una gran verdad: se necesita seguir construyendo puentes entre la teoría y la praxis para la solución de problemas concretos. El diálogo interdisciplinario entre las ciencias, pero sobre todo de las ciencias con los ciudadanos —en este caso nuestros docentes— es una prioridad para llegar a donde más se necesita: la escuela.

Celebro la aparición de este segundo trabajo del autor en esta —otra muy importante responsabilidad— Casa Editorial. Estoy seguro de que la neurodidáctica, como praxis de la neuroeducación, confluirá en los tiempos venideros en el quehacer educativo de nuestro estado.

Enhorabuena por este compartido y comprometido trabajo vinculante.

Puebla, Puebla, a 1° de agosto de 2022.

**Dr. Victoriano Gabriel Covarrubias Salvatori**  
*Director del Consejo de Ciencia y Tecnología de Puebla*



## INTRODUCCIÓN

La neuroeducación es un campo académico cuyo objetivo es dilucidar la base neuronal y los mecanismos bio-epistemológicos de la cognición, pero en sí misma, es un campo transdisciplinar integral y complejo. Debido a la naturaleza de esta gran área, tiene una conexión horizontal con una amplia variedad de *saberes*. Este trabajo multidisciplinario incluye los elementos de la neurociencia en las disciplinas relacionadas con el comportamiento humano y la educación, partiendo de la premisa de que el cerebro es la raíz del proceder humano y que la actividad intelectual es el resultado emergente del trabajo que se realiza en el sistema nervioso central (SNC). Además, un nuevo enfoque de la neurociencia está abriendo la puerta a las Humanidades y a las Ciencias Sociales desde la perspectiva de disciplinas, aparentemente tan disímiles, como la inteligencia artificial (AI), la medicina y la ética. Sólo basta con observar los maravillosos avances que se están obteniendo en el *Human Brain Project* [Proyecto Cerebro Humano] (Salles *et al.*, 2019) para comprobar la imbricación de las diversas áreas del conocimiento en una meta común.

Se requiere de una educación científica (Kvernbekk, 2015) en la que se evalúe no sólo la presencia de evidencia, sino la calidad de dicha evidencia. La *falacia científicista* ha estado presente en la neurociencia y en los textos de divulgación, que no necesariamente son metódicos. Estos son aquellos escritos para el gran público con un tono de seriedad, pero vacíos. Con la arenga de que “ya ha sido demostrado por la ciencia”, se cometen atropellos no sólo lingüísticos. Hay evidencias pseudocientíficas disfrazadas de *aletheia* [verdad], y algunas son difíciles de distinguir entre lo uno y lo múltiple. Incluso la evidencia científica que es comúnmente aceptada puede ser inexacta desde el punto de vista de la neurociencia cognitiva: enfoques de enseñanza, potenciación del cerebro, tipos de personalidad... y un largo etcétera. En otras palabras, una educación basada en evidencias necesita que los argumentos demostrativos y el remanente empírico sean sólidos, por eso se tratará de echar abajo, o por lo menos advertir, sobre diversos mitos que rondan el andamiaje teórico del cerebro y que, por supuesto, tienen repercusiones para la vida práctica.

En la primera parte del libro se identifica los llamados neuromitos, creencias justificadas o no sobre el cerebro y su funcionamiento que han

prevalecido a lo largo de los años y que, en muchos casos, llegan a distorsionar e incluso prejuzgar la visión de los docentes con sus alumnos, por lo que se cometen errores en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Se analizarán algunos argumentos que sostienen los neuromitos y algunos contraargumentos que la ciencia ofrece para desmentirlos.

Por otra parte, dilucidar el mecanismo de desarrollo y fortalecimiento de funciones cerebrales superiores, como los sistemas emocionales y de recompensa, así como la construcción adecuada de los juicios de valor y los comportamientos de planificación son algunos de los ítems fundamentales de la filosofía del cerebro. Para ello, se necesita aclarar la importancia de la plasticidad sináptica en el aprendizaje de manera unificada, desde el nivel biológico hasta el nivel del sistema y de comportamiento. La conexión entre la neurociencia cognitiva y la educación se define como neuroeducación y depende, en buena medida, de esta plasticidad neuronal.

En el segundo apartado se analiza el fenómeno de la neuroplasticidad como un factor determinante en el desarrollo integral del ser humano, tanto por factores físicos-biológicos como por factores psíquicos e incluso adaptativo-sociales. Se argumenta que entender la neuroplasticidad del cerebro y del sistema nervioso en su conjunto es la llave para fomentar prácticas educativas inteligentes y dirigidas al aprendizaje como un proceso que puede ser modelado a favor del educando. La educación en general es el elemento potenciador cognitivo que genera neuroplasticidad positiva a un nivel de transformación extendida, productiva y constante.

La neuroeducación es un movimiento que puede cooperar con otros campos, también centrados en la neurociencia y que están activos desde al menos una década, como lo son la neuroeconomía (Loewenstein, Rick y Cohen, 2007), la neuroingeniería (Di Lorenzo y Bronzino, 2007), la neurolingüística (Fujita y Boeckx, 2016), el neuromarketing (Bayle-Tourtoulou y Badoc, 2020) y la neuroética (Morandin-Ahuerma, 2021), por citar algunos. La neuroeducación es un campo de cooperación que aún no ha madurado lo suficiente, pero que eventualmente se convertirá en una disciplina fundamental para la pedagogía y la andragogía, la ciencia de la educación para los adultos.

En el tercer apartado se identifican los fundamentos conceptuales y los objetivos principales de la neuroeducación con una visión de la neurociencia cognitiva que considera cada etapa involucrada en el proceso de enseñanza-aprendizaje desde una panorámica multidisciplinar. Se argumenta que la neuroeducación es un campo de pensamiento complejo que requiere del

diálogo, pero sobre todo del consenso entre las diversas disciplinas involucradas para lograr avances significativos, objetivos concretos y aplicaciones innovadoras para una educación basada en evidencias.

Aquel *saber hacer*, *saber aprender* e incluso, el *saber ser* tienen su fundamento en el proceso de desarrollo neural. En otras palabras, dado que el aprendizaje y la educación son comportamientos humanos que involucran al cerebro, se muestran aquí algunos enfoques de la neurociencia para construir mejores estrategias de enseñanza y de aprendizaje.

Finalmente, se ofrece una amplia bibliografía que se pretende sirva de guía para quienes deseen realizar investigaciones futuras en este apasionante tema: las neurociencias y su aplicación al aprendizaje continuo. También sirve para profundizar su lectura y estudio, por lo que en cada referencia encontrará, hasta donde fue posible, un hipervínculo activo a la fuente original de toda la información aquí utilizada.

Llevar la sabiduría de la neurociencia cognitiva a la educación todavía requiere precaución y maduración. Aún no se tiene toda la evidencia de la neurociencia educativa que pudiera aplicarse automáticamente a todos los niños, niñas y jóvenes, por eso la neuroeducación debe limitarse a la presentación de que el cerebro tiene ciertas características y cuáles pueden ser aprovechadas en el aula.

Esta es una reflexión desde la filosofía del cerebro que se adentra en los intrincados caminos cognitivos de las ciencias médicas, la neurobiología, las ciencias del comportamiento y la investigación educativa. Se tiene la firme convicción de que la neuroeducación está en progreso y será una herramienta epistemológica sólida para la construcción de un nuevo proyecto educativo con visión de futuro.

Se espera, querido lector, que el valioso tiempo que le dedique a la lectura de esta obra le resulte productivo y enriquecedor.



# I. LA PREVALENCIA DE LOS NEUROMITOS EN LA EDUCACIÓN

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este apartado es identificar los llamados neuromitos, creencias justificadas o no, sobre el cerebro y su funcionamiento que han prevalecido a lo largo de los años y que, en muchos casos, llegan a distorsionar e incluso prejuzgar la visión de los docentes hacia con sus alumnos, por lo que se cometen errores en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Aquí se analizan los argumentos que sostienen los neuromitos y los contraargumentos que la ciencia ofrece para desmentirlos.

## PRIMER MITO: UTILIZAMOS SÓLO EL 10% DE NUESTRO CEREBRO

A toda persona le gusta creer que tiene *poderes ocultos* para realizar proezas, pero que, debido a que sólo usa una pequeña fracción de su cerebro —y, por tanto, de sus capacidades— no puede realizarlas. Esta puede ser una idea optimista e incluso motivante. No obstante, si se piensa, puede resultar frustrante. Por una parte, se cree que se puede realizar cualquier cosa sorprendente si se desarrolla adecuadamente el cerebro, por la otra, que no se ha sido capaz de desplegar ese potencial por falta de entrenamiento, disciplina o la *técnica* adecuada para su desarrollo. Es aquí donde se abre la puerta a quienes prometen, sin escrúpulos, *despertar* ese 90% de cerebro *dormido*.

La idea de que se utiliza el 10% del cerebro es muy atractiva porque significa que se puede habilitar todavía un 90% más de capacidades; significa que dentro de la persona hay un *genio* con un inmenso potencial infravalorado que, con la *técnica* y el entrenamiento adecuado, podría *despertarse* y convertirse en un super-hombre o una super-mujer. Desafortunadamente, nada de eso al parecer es verdad. Las evidencias apuntan a que se utiliza el 100% del cerebro y que, aun cuando prevalecen dudas sobre algunas zonas, por ejemplo, las células gliales y los enfoques locacionistas psicomorfológicos frente a los no situados u holísticos (Luria, 1980; Thatcher y John, 2021), ello no significa que

existan áreas inexploradas o misteriosas que podrían generar *poderes suprahumanos*.

Lo sorprendente es la cantidad de personas que creen en este mito. Trabajos que recopilan la suma de hallazgos, por ejemplo, el Paul Howard-Jones (2014), encontró que en el Reino Unido 48% de las personas creen que se usa la décima parte del cerebro; en Holanda, 46%; en Turquía, 50%; en Grecia, 43% y en China, 59%. En México, los estudios arrojan que el 45% lo cree (Carrillo-Avalos y Laguna-Maldonado, 2022). La idea es persistente, no importa el nivel de estudios, sexo o profesión. Por ejemplo, 42% de profesionales y estudiantes del sector salud, sorprendentemente, suponen usar sólo el 10% de su cerebro (Carrillo-Avalos y Laguna-Maldonado, 2022).

### POSIBLES FUENTES DE LA CREENCIA

#### WILLIAM JAMES

Se suele decir que el culpable del mito del 10% fue el psicólogo norteamericano William James, quien afirmó que usamos sólo una pequeña parte de las capacidades cognitivas. Lo que James textualmente escribió en su ensayo titulado "*The energies of men*" [Las energías de los hombres], publicado en enero de 1907 en la revista *The Philosophical Review* fue lo siguiente:

«El primer punto en que conviene ponerse de acuerdo en esta empresa es que, por regla general, los hombres utilizan habitualmente sólo una pequeña parte de los poderes que realmente poseen y que podrían utilizar en condiciones apropiadas. Todo el mundo está familiarizado con el fenómeno de sentirse más o menos vivo en diferentes días. Todo el mundo sabe que en un día determinado hay energías dormidas en él que los estímulos de ese día no despiertan, pero que podría desplegar si fueran mayores esos estímulos. La mayoría sentimos como si una especie de nube pesara sobre nosotros, manteniéndolos por debajo de nuestro nivel más alto de claridad en el discernimiento, seguridad en el razonamiento o firmeza en la decisión. Comparados con lo que deberíamos ser, estamos sólo medio despiertos. Nuestros fuegos están apagados, nuestras corrientes de aire están controladas. Estamos haciendo uso de sólo una pequeña parte de nuestros posibles recursos mentales y físicos» (James, 1907, p. 14) [Traducción libre].

James escribió que se hace uso de sólo una pequeña parte de los posibles recursos mentales y físicos porque se pasa la mayor parte del día sin tener total

claridad mental, pero en ningún momento afirmó que se esté usando únicamente el 10% de la fisiología cerebral.

La idea cobró un gran impulso cuando Lowell Thomas citó a James en su prefacio al famoso libro de autoayuda de Dale Carnegie, *How to Win Friends & Influence People* (Carnegie, 1936) [*Cómo ganar amigos e influir sobre las personas*] (Carnegie, 2010). Thomas escribió: “El profesor William James de Harvard solía decir que la persona promedio desarrolla sólo el 10% de su capacidad mental latente” (p.14).

Se debe agregar que Carnegie fue el más exitoso de una larga serie de gurús de la autoayuda de su época, muchos de los cuales intentaron, e intentan, manipular la información apropiándose de los avances en la investigación del cerebro para dar una legitimidad dudosa a *lugares comunes* (Della Sala, 2007).

James hablaba en términos de potencial subdesarrollado, sin relacionarlo con una cantidad específica del cerebro involucrado. Pasaron de “10% de nuestra capacidad” y gradualmente se transformó en “el 10% de nuestro cerebro”, pero esto es inexacto (Lilienfeld, Lynn, Ruscio y Beyerstein, 2011).

#### ALBERT EINSTEIN

El mito ganó un impulso inesperado a principios de la década de 1920 durante, al parecer, una entrevista por radio con Albert Einstein, en donde se dice que el físico se refirió al 10% para exhortar a las personas a pensar de manera más analítica (Geake, 2008). Sin embargo, esta entrevista radiofónica no pudo ser corroborada, ni escuchada la voz de Einstein diciendo cosa semejante.

#### EL CINE COMO POTENCIADOR DEL MITO

La industria cinematográfica ha sido prolija en replicar el mito del 10%. La mejor muestra fue la película *Lucy* del director francés Luc Besson (Besson, 2014), que en su guion original presenta al profesor Samuel Norman, protagonizado por Morgan Freeman, quien supuestamente ha estado estudiando qué sucedería si se utilizara el 100% del cerebro.

El científico afirma en una parte del filme:

«La mayoría de las especies usan sólo del 3 al 5% de su capacidad cerebral, pero no es hasta que llegamos los seres humanos a la cima de la cadena alimenticia que por fin veremos a una especie que utiliza más de su capacidad cerebral. Diez por ciento no parecerá mucho, pero lo es si vemos todo lo que hemos hecho con él (...) el delfín utiliza hasta el 20% de su capacidad cerebral,

eso le permite tener un sistema de ecolocación más eficiente que cualquier sonar inventado por el hombre» (Besson, 2014).

En la trama, Lucy Miller (Scarlett Johansson), por los efectos de una droga llamada CPH4, libera progresivamente la totalidad de su potencial neuronal. Primero aprende todo repentinamente y tiene control sobre todas sus funciones corporales, incluso aquellas homeostáticas a las que no se tendría acceso. Después, controla a otras personas telepáticamente. Usa la llamada *telequinesis*, que significa mover objetos con la mente, y después *rompe* las barreras del tiempo y del espacio. Finalmente, tiene una metamorfosis que la convierte en una *sustancia* inteligente que pone su conocimiento en una unidad de almacenamiento externo y, de pronto, desaparece viajando por la web (Besson, 2014).

Otra película que explota el mito es *Limitless, Dark Fields [Sin Límites]* del director canadiense Nathan Frankowski (Frankowski, 2011). En la película, el escritor Eddie Morra, protagonizado por Bradley Cooper, experimenta una completa transformación por los efectos de una droga sintética llamada NZT48, la que le otorga poderes creativos para terminar una obra literaria en sólo cuatro días que había estado detenida por meses. Después, en tres días, aprende a tocar el piano, gana una fortuna en un casino por su memoria. Al igual que Lucy, habla varios idiomas con sólo escucharlos, hace diagnósticos médicos y realiza profundos análisis financieros, todo en minutos. “Mi cerebro supuraba estas cosas: todo lo que había leído, oído o visto, ahora estaba organizado y disponible” (27:30) afirma Morra.

La novela *The Dark Fields [Los campos oscuros]* (Glynn, 2001) del escritor irlandés, Alan Glynn fue la adaptación que hiciera el director de la película *Sin Límites*. En la novela de Glynn, Edward "Eddie" Spinola consume un fármaco experimental, el MDT48, que le permite realizar, con algunas variaciones, las proezas que Morra realiza en la película. Ya en 1986, la película *Flight of the Navigator [El vuelo del navegante]* (Kleiser, 1986) y *Defending Your Life [Visa al paraíso]* (Brooks, 1991) incluían afirmaciones de que la mayoría de las personas usan una fracción de su cerebro.

#### KARL LASHLEY

Otra fuente del mito son los resultados del trabajo del psicólogo conductista estadounidense, Karl Lashley, quien en su trabajo de 1929 titulado *Brain Mechanisms and Intelligence: A Quantitative Study of Injuries to the Brain [Mecanismos cerebrales e inteligencia: Un estudio cuantitativo de las lesiones*

cerebrales] (Lashley, 1929) encontró que aun cuando extirpaba un gran porcentaje del cerebro de las ratas, estas seguían utilizando lo que les había enseñado previamente.

Lashley quería ubicar la región en el cerebro donde se conservaban los recuerdos en ratas entrenadas, especialmente aquellas respuestas conductistas ya practicadas por los roedores dentro de laberintos en el laboratorio. Denominaba a esta región como “engrama” o rastro de memoria (Lashley, 1929). La idea de que las respuestas aprendidas estaban localizadas espacialmente en el cerebro era coherente con lo que hasta entonces había “descubierto” por el conductismo. Una vez que las ratas habían memorizado el lugar de salida del laberinto, Lashley les infligía diversas lesiones en el cerebro esperando borrar los rastros de memoria anidados. Sin embargo, Lashley no encontró una zona específica donde estuviera el rastro de memoria, por lo que, algunos científicos (Bruce, 1996) interpretaron que se debía a que sólo se utiliza una pequeña parte del cerebro, cuando, como se verá más adelante, se sabe hoy que se debe a la plasticidad neuronal.

#### EGAZ MORIS

Uno de los mayores errores del Premio Nobel fue el de Medicina de 1949 que se le otorgó al médico António Caetano de Abreu Freire Egas Moniz por su descubrimiento del valor terapéutico de la leucotomía en ciertas psicosis (Fusar-Poli, Allen y McGuire, 2008). La leucotomía es una intervención quirúrgica que consiste en seccionar los nervios que hacen que estén conectados los lóbulos frontales del neocórtex.

La creencia de que algunas regiones del cerebro no cumplen ninguna función puede tener efectos fatales, como se vio en la popularidad de la lobotomía frontal, una operación quirúrgica en la que se destruye la mayor parte de la corteza frontal de una persona a la que se le introduce un instrumento quirúrgico por el ojo. Aunque este método supuestamente reducía conductas anómalas como esquizofrenia o depresiones profundas, tuvo importantes consecuencias negativas para el comportamiento y la motricidad (Bruyckere, Kirschner y Hulshof, 2015). Prueba de ello fue Rosemary Kennedy, quien sufría un leve retraso, pero tras haber sido sometida a la lobotomía quedó inválida (Duque, 2021; Tan y Yip, 2022).

## CÉLULAS GLIALES

Suele decirse, de manera aproximada, que el cerebro tiene 100 000 millones de neuronas y que se compone además por aproximadamente entre 500 millones y un billón de células gliales (Cherry, 2020). Las células de soporte del sistema nervioso central se denominan neuroglía o células gliales. Por mucho tiempo se pensó que, como su nombre etimológico indica, estas sirven de “pegamento”, que las gliales eran células pasivas que sólo actuaban para unir las neuronas (Reyes-Haro, Bulavina y Pivneva, 2014).

Hoy se sabe que las células gliales son necesarias para el desarrollo normal de las neuronas, ya que, si hay ausencia de éstas, el cultivo de células nerviosas no prospera (Sasse, Neuert y Klämbt, 2015; Tse, Chow, Leung, Wong y Wise, 2014). A pesar de que las células gliales se consideran principalmente células de soporte del tejido nervioso, existe una fuerte relación funcional entre las neuronas y las células gliales (Duan *et al.*, 2018). De hecho, la neuroglía es fundamental durante el desarrollo del sistema nervioso, ya que proporciona la base física para la migración neuronal (Shinoda, Fukuoka, Takeda, Iwata y Noguchi, 2019). Además, realiza funciones metabólicas y de tráfico críticas, permitiendo que las redes neuronales se comuniquen e integren. Cada neurona tiene un revestimiento glial que complementa sus contactos con otras neuronas, de modo que sólo la red glial se desintegra para crear espacio para las sinapsis. Las células gliales desempeñan un papel básico en la transmisión cerebral. Las funciones gliales que están establecidas incluyen: mantener el entorno iónico de las células nerviosas, modular la velocidad de propagación de las señales nerviosas, modular la acción sináptica mediante el control de la captación de neurotransmisores, proporcionar un andamiaje para ciertos aspectos del desarrollo neuronal y ayudar o prevenir, en algunos casos, la recuperación de lesiones neuronales, como se advierte en el capítulo correspondiente a neuroplasticidad (Jäkel y Dimou, 2017).

Lo que sí sucede es que la glía no participa directamente en las conexiones sinápticas ni en la señalización eléctrica, pero sus funciones de apoyo ayudan a definir los contactos sinápticos y a mantener la capacidad de señalización de las neuronas (Yasuda, Nagappan-Chettiar, Johnson-Venkatesh y Umemori, 2021). La glía supera en número a las células nerviosas del cerebro en una proporción aproximada de tres a uno. Aunque las células gliales, al igual que las neuronas, contienen procesos complejos que se extienden desde sus cuerpos celulares, suelen ser más pequeñas y carecen de axones y dendritas (Purves *et al.*, 2001). El término ha persistido a pesar de la ausencia de pruebas

de que las células gliales están implicadas en la unión de las células nerviosas (Kumari, Srinivasan y Banerjee, 2017; Liu, Chen, Mailler y Wang, 2017).

Aunque las neuronas están en el centro del pensamiento y de otras actividades mentales, en definitiva las células gliales proporcionan un apoyo elemental a las neuronas que hacen el trabajo mentalmente *pesado* (Lilienfeld *et al.*, 2011).

### LA CORTEZA ASOCIATIVA O CEREBRO SILENCIOSO

Otra razón del mito del 10% surge al referirse algunas personas a un área significativa de los hemisferios cerebrales humanos como la *corteza silenciosa*. Los primeros investigadores pueden haber contribuido a la creencia generalizada de que lo que los científicos ahora llaman la "corteza de asociación" se consideraba funcionalmente inerte.

La corteza parietal posterior (PPC) o corteza de asociación parietal es parte de la corteza parietal ubicada detrás de la corteza somatosensorial primaria, y juega un papel importante en la producción de movimientos planificados. La corteza parietal posterior corresponde a las áreas 5 y 7 de Brodmann y se subdivide anatómicamente en los lóbulos parietales inferior y superior (Demb y Singer, 2016; Gómez-León, 2019).

El lenguaje, el razonamiento intelectual y las tareas sensoriales y motoras complejas requieren la corteza de asociación. Del mismo modo, según Lilienfeld y su equipo (2011), las afirmaciones honestas de los primeros investigadores de que no tenían ni idea de lo que hacía el 90% del cerebro probablemente contribuyeron a la percepción de que no hacía nada.

### EL SER HUMANO UTILIZA TODO SU CEREBRO

#### ARGUMENTO DE LA EVOLUCIÓN

Es difícil creer que la evolución haya permitido un despilfarro tan colosal de recursos para producir y mantener un órgano tan poco utilizado. Además, si tener un cerebro más grande contribuye a la flexibilidad que favorece la supervivencia y la reproducción —los objetivos fundamentales de la selección natural— es difícil creer que cualquier ligero aumento de la capacidad de procesamiento no sea rápidamente absorbida por los sistemas cerebrales existentes para mejorar las posibilidades del portador en la interminable lucha por prosperar y procrear (Lilienfeld *et al.*, 2011).

El cuerpo humano tiene varios "restos", esto es, componentes corporales que se originaron en el pasado pero que ya no son necesarios para la función diaria, por ejemplo, las muelas del juicio. Incluso el cuerpo humano conserva una apariencia de cola, el coxis (Woon, Perumal, Maigne y Stringer, 2013). Cabría preguntarse si el cerebro tiene algún componente evolutivamente "obsoleto". Numerosos años de investigación han demostrado que no es así. El cerebro consta de varias partes, cada una con una finalidad distinta que funciona al unísono. No se conoce ningún componente del cerebro que no sirva para nada (Bruyckere *et al.*, 2015).

Las regiones del cerebro que están infrautilizadas como resultado de una lesión o enfermedad a menudo realizan una de dos funciones. O se marchitan o "degeneran", como lo llaman los neurocientíficos, o son *colonizadas* por regiones circundantes que buscan *terrenos baldíos* para colonizar (Lilienfeld *et al.*, 2011).

### EL 2% CONSUME EL 25% DE LA ENERGÍA

El tejido cerebral es costoso de cultivar y mantener. A pesar de que sólo representa del 2% al 3% de nuestro peso corporal, consume más del 20% del oxígeno disponible en la sangre que el cuerpo respira. El cerebro consume una cantidad importante de energía, tanto de nutrientes como de oxígeno. Si sólo se empleara el 10% del cerebro, esto implicaría una ventaja evolutiva para los organismos con un cerebro diminuto. Es discutible que los seres humanos hubieran durado tanto tiempo con un cerebro tan masivo en estas circunstancias. De hecho, la evolución habría impedido que el cerebro creciera hasta alcanzar tales proporciones (Bruyckere *et al.*, 2015).

Una comprensión básica de la biología evolutiva debería haber terminado hace tiempo con este mito; el funcionamiento del cerebro es muy costoso a nivel biológico, y la selección natural, un mecanismo de conservación de recursos en el mejor de los casos, parece muy improbable que haya tolerado el despilfarro de recursos vitales para esculpir y mantener un órgano tan infrautilizado. Se pregunta Della Sala: "¿Quién pagaría la factura de la calefacción de diez habitaciones si no se saliera de la cocina?" Y esto tiene cierta lógica porque el cerebro consume 20% de la energía del cuerpo (Della Sala, 2007).

### ARGUMENTO DE LA NEUROCIRUGÍA

Los accidentes cerebrovasculares o los traumatismos craneales pueden dañar cualquier parte del cerebro, por lo que los pacientes tienen graves pérdidas funcionales. Las pérdidas de tejido causadas por accidentes cerebrovasculares

o lesiones en la cabeza suelen afectar a algún aspecto de la función psicológica, independientemente del lugar del cerebro en el que se produzcan, e incluso pérdidas inferiores al 10% tienen graves repercusiones en la conciencia, la personalidad, las emociones, los talentos y los movimientos. La activación eléctrica y química de las células nerviosas induce la actividad mental o física independientemente de la ubicación en el cerebro (Della Sala, 2007).

El efecto de las lesiones cerebrales sería mucho menos dramático si realmente se utilizara el 10% de la capacidad del cerebro. En los hechos, ocurre lo contrario, casi ninguna zona del cerebro puede resultar dañada sin que se produzca alguna pérdida de función (Demarin, Morović y Béné, 2014). Incluso lesiones menores en partes relativamente pequeñas del cerebro pueden tener repercusiones catastróficas (Bruyckere *et al.*, 2015). Los hallazgos antes descritos de Karl Lashley en ratas no pueden equipararse a lo que sucede en el cerebro humano tras la pérdida de alguna parte del cerebro.

#### ARGUMENTO DE LA ESTIMULACIÓN

Del mismo modo, la estimulación eléctrica de lugares del cerebro durante la neurocirugía no ha revelado la existencia de "zonas silenciosas", lugares en los que una persona no tiene sentido, emoción o movimiento cuando los neurocirujanos aplican estas pequeñas corrientes (Lilienfeld *et al.*, 2011).

Aun cuando no sea estimulado el cerebro, hay abundantes pruebas de que el neocórtex está continuamente activo y que, incluso cuando no se procesa información, las células cerebrales siguen *disparando* al azar, tal como sucede durante el sueño. Como órgano que ha evolucionado para no saber lo que va a ocurrir a continuación, esa actividad continua mantiene el cerebro *preparado*, siempre en alerta (Geake, 2008).

Si el cerebro tuviera un gran número de células cerebrales que nunca utilizara estas se desvanecerían progresivamente como ocurre con las células que no son útiles, que se deterioran y eventualmente desaparecen. En este caso, la mayor parte del cerebro humano se habría destruido mucho antes de que la persona muera (Bruyckere *et al.*, 2015; Kraus, Castrén, Kasper y Lanzenberger, 2017; Mole *et al.*, 2016).

#### ARGUMENTO DE LAS NEUROIMÁGENES

En el último siglo se han desarrollado herramientas cada vez más sofisticadas para monitorear la actividad del cerebro, como la imagen de resonancia magnética funcional (fIRM) y la imagen por emisión de positrones (PET/TC). Los

investigadores han conseguido localizar un gran número de procesos en regiones cerebrales específicas utilizando técnicas de imagen cerebral como los electroencefalogramas, los escáneres de tomografía por emisión de positrones y las máquinas de resonancia magnética funcional. Los investigadores pueden implantar sondas de registro en los cerebros de animales no humanos y en ocasiones, de individuos que reciben terapia neurológica. A pesar de este meticuloso mapeo, no se han identificado *áreas de tranquilidad* a la espera de nuevas asignaciones (Nabavi *et al.*, 2001). Incluso las tareas más sencillas requieren la contribución de áreas de procesamiento que abarcan casi todo el cerebro (Lillienfeld *et al.*, 2011).

Con frecuencia, las neuroimágenes tienen parches restringidos de colores vivos para señalar picos de actividad cerebral o, más precisamente, de flujo sanguíneo. Sin embargo, esto no indica que el resto del cerebro no trabaje. Las imágenes de la actividad cerebral se procesan intensamente y se someten a diversos análisis estadísticos para determinar qué regiones del cerebro son más activas que otras en un momento determinado (Bruyckere *et al.*, 2015). Con las imágenes computarizadas del cerebro puede verse que, tras una lesión grave, amplias partes quedan completamente inactivas (Bruyckere *et al.*, 2015).

## DISCUSIÓN

No existe tal potencial dormido o aletargado esperando a que alguien o algo ayude a despertarlo. Sin duda, el mito del 10% ha inspirado a muchas personas a luchar por una mayor creatividad y productividad en su vida diaria, lo que es algo bueno, pero también ha dado lugar a que muchos se aprovechen sin escrúpulos de ello, prometiendo a los incautos poderes casi mágicos.

En el aula el mito también prevalece con la consecuencia negativa de una visión infravalorada de los alumnos. El cerebro se utiliza completamente y no hay un buen sustituto del trabajo duro en el proceso adaptativo. Esta mala noticia ha servido de poco para disuadir a millones de personas que aún creen que el secreto para hacer realidad sus aspiraciones insatisfechas reside en el hecho de que no han descubierto cómo acceder a “su gran reserva cerebral” sin explotar.

Los neurocirujanos sostienen que si se utilizara el 10% del cerebro se estaría en estado vegetativo. Sin duda, no se debe subestimar la flexibilidad de los cerebros en desarrollo e incluso maduros para que ocurra la plasticidad. El cerebro debe participar activamente y todas las neuronas deben activarse (Geake, 2008).

En la educación es fundamental centrarse tanto en los límites como en las oportunidades de progreso. Se emplea mucho más que el 10% del cerebro, como indica el mito, así que el desarrollo y la mejora siguen siendo posibles.

## SEGUNDO MITO: LOS ESTILOS DIFERENCIADOS DE APRENDIZAJE

Otro mito ampliamente extendido, especialmente en el área educativa, es referente al hecho de que cada alumno tiene un *diferente enfoque* o *vía privilegiada* para el aprendizaje, por lo que los maestros deben descubrir el estilo de aprendizaje de cada alumno o grupo, y adecuar su didáctica a ese estilo dominante. La teoría de los estilos de aprendizaje supone que las personas aprenden de acuerdo con su sentido principal: vista, oído o tacto. Sin embargo, si bien hay “uno que es dominante”, también se puede dar una combinación de los diferentes estilos (Hasibuan y Nugroho, 2017).

Se afirma que el estilo de aprendizaje no está predeterminado, cada alumno puede desarrollar y ampliar habilidades por vías que aún le son desconocidas, así como profundizar en la percepción de aquellos estilos que ya conoce. De esta manera, la teoría puede recibir múltiples interpretaciones y ha logrado entrar en las creencias de muchos docentes y políticas educativas (Guraya, Habib y Khoshhal, 2014).

De acuerdo con esta teoría en la enseñanza tradicional se utilizaron principalmente métodos de enseñanza lógicos y lingüísticos, pero se considera que representan una gama limitada de recursos educativos. Algunos ven con desconfianza el modelo basado en libros, en la repetición de material y en los exámenes acumulativos para el proceso de enseñanza y de aprendizaje, y creen que utilizando el enfoque de aprendizaje diferenciado obtendrán mejores resultados (Lai, Chiu y Lee, 2014; Munir, Ahmad, Hussain y Ghani, 2018).

Una persona que conoce y comprende su estilo de aprendizaje, argumentan, puede usar métodos que sean apropiados con mayor eficacia (Shukr, Zainab y Rana, 2013). Esto, a su vez, creen que mejorará la velocidad y la calidad de asimilación del material.

“Los alumnos visuales aprenden mejor a través de las imágenes; los auditivos o acústicos prefiere la voz, los sonidos y la música para el entrenamiento; y los kinestésicos, prefieren las sensaciones del cuerpo, las manos, el tacto y el movimiento corporal” (Medina-Ibarra, 2018).

Se cree que estas preferencias impulsan un mejor aprendizaje y que inciden en cómo se recuerda la información, se da sentido a las experiencias e

incluso qué palabras se eligen: “Veo que...”, “Escuche que...” o “Sentí que...” (Şimşek, Atman, Inceoglu y Arikan, 2010; Medina-Ibarra, 2018).

Por tanto, se supone que la calidad de la educación mejora si los estudiantes y los profesores se dan cuenta de la *vía privilegiada* para generar y recibir la información en el aula. Si bien la actividad de aprendizaje efectiva sólo puede llevarse a cabo en condiciones de refuerzo emocional, es decir, cuando los estudiantes se dan cuenta de sus logros, la teoría interpreta que la actividad consciente dirigida a lograr el éxito a través de una o de varias vías es el requisito previo para un aprendizaje de calidad (Yousef, 2016).

Así, algunos profesores se esfuerzan para que los estudiantes asimilen mejor el material, utilizando el *enfoque apropiado* para cada estudiante (Touche *et al.*, 2019) y si el proceso educativo fracasa, no es porque el alumno no esté prestando la debida atención, focalización o esfuerzo por aprender, sino porque “no se estaría usando el medio apropiado”, pero de esto, como ya se ha mencionado, no existe evidencia alguna contundente alguna (Barraza-Rodríguez, 2017).

## DISCUSIÓN

Según Clark (2015), en un metaanálisis de las investigaciones que utilizaron estrategias de distintos “enfoques de aprendizaje”, se determinó que tenía poco o ningún efecto sobre el aprendizaje y los resultados de los alumnos. Dicho de otro modo, quienes decían preferir un determinado estilo de enseñanza no solían obtener ninguna ventaja al utilizarlo realmente. La enseñanza puede mermar el aprendizaje cuando los enfoques instructivos se ajustan a “un estilo de aprendizaje” que se cree es mejor para alguno que para otros; pero se vio que era ineficaz (Terada, 2018).

Los “estilos de aprendizaje” que se basan en tipos de clases o conjuntos ponen a los alumnos en categorías separadas. Sin embargo, las investigaciones objetivas (Kirschner, 2017) aportan muy pocas pruebas para la suposición de que los individuos forman grupos diferentes. Este encasillamiento de los alumnos tiene al menos tres inconvenientes: dado que la mayoría de las personas no encajan solamente en un estilo de aprendizaje, es difícil asignar a las personas un enfoque determinado; la información utilizada para hacerlo es a menudo insuficiente, por ejemplo, los datos dados por los propios alumnos que son los más utilizados para ver estas divisiones y, finalmente, hay tantos estilos y combinaciones diferentes que es sumamente difícil y subjetivo querer categorizar a todos (Kirschner, 2017; Terada, 2018).

Según De Bruyckere y su equipo (2015) para que el estilo de aprendizaje fuera real, debería existir una interacción cruzada y correlacional que demostrara realmente que los alumnos de tipo A aprendan mejor con el método A y los de tipo B aprendan mejor con el método B. Los hallazgos de las investigaciones que indican interacciones entre supuestos “estilos de aprendizaje” y enfoques de enseñanza particulares no tienen consecuencias educativas significativas, ya que no se hacen interacciones cruzadas que generen los indicadores pertinentes para cada “estilo”.

De Bruyckere explica que el inventario de Kolb (1984), base del aprendizaje por experiencia, fue el último sistema de clasificación. Los esfuerzos por verificar la educación por experiencia y los “estilos de aprendizaje” simplemente han fracasado. Investigaciones cuantitativas que utilizaron el Inventario de Estilos de Aprendizaje de Kolb, encontraron correlaciones bajas y tamaños de impacto pequeños y medianos en el metaanálisis (Garner, 2000).

A raíz de estos resultados, se concluyó que el empleo de inventarios o enfoques experienciales para la enseñanza o la formación no cumple los criterios de validez predictiva. Otros estudios descubrieron que el inventario tiene una escasa fiabilidad de prueba y que hay poca o ninguna relación entre los parámetros que deberían corresponder con la categorización de los “estilos de aprendizaje” y los resultados obtenidos. Otras numerosas evaluaciones comparables, cada una de ellas defectuosa a su manera (Rohrer y Pashler, 2012) sirven de base a la creencia de educadores, padres y empresas de que los alumnos obtendrán mejores resultados en la escuela si su plan de estudios se adapta a su “estilo de aprendizaje” preferido (Bruyckere *et al.*, 2015; Kirschner, 2017).

Esto ha servido de pretexto para justificar los malos resultados de los alumnos. Tanto para los alumnos como para los padres, la noción de “estilos de aprendizaje” proporciona un marco para culpar al sistema educativo de cualquier fracaso en el aprendizaje, en lugar de las propias deficiencias del alumno. Muchos suelen decir: “¿Cómo pueden esperar que mi hijo aprenda y obtenga buenos resultados si es alumno *holístico*, *visual*, etcétera, pero las enseñanzas aquí son verbales, auditivas, etcétera?”. Si tienen dificultades para aprender es fácil señalar la falta de *adaptabilidad* de las técnicas de enseñanza utilizadas por el profesor y la escuela en general (Kirschner, 2017).

En realidad, todos los alumnos tienen las mismas capacidades para el aprendizaje, y cada maestro utiliza distintos mecanismos y estrategias para que sus alumnos obtengan los conocimientos requeridos de acuerdo con su plan de

estudios. Decir que un alumno es visual y otro auditivo es decir que es bueno para una cosa y malo para otra, lo cual sin duda, traerá efectos colaterales negativos.

Muchas personas también creen que la forma en que se percibe la información se hereda (Sternberg, 2020). Sin embargo, la ciencia no ha encontrado ninguna evidencia de una conexión entre cómo los estudiantes perciben la información y su rendimiento académico. No hay evidencias tampoco de que estas preferencias estén asociadas con diferencias en los mecanismos de la actividad cerebral. Si bien ciertas formas de aprender son más efectivas para cierto tipo de actividades, por ejemplo, el análisis de literatura requiere de la propia lectura y escritura, o el aprender a nadar requiere experiencia motora activa, se deben combinar y alternar diferentes técnicas de enseñanza, teniendo en cuenta el objetivo final y no una clasificación artificial que prejuzgue o predisponga tanto a los alumnos como a los maestros (Newton, 2015).

Los “estilos de aprendizaje” ya se han estudiado y no hay pruebas rigurosas que respalden su uso. Además, se pueden deconstruir para mostrar que no son una forma válida de categorizar a los alumnos. Hay otras preocupaciones, también ya mencionadas, al encasillar a los alumnos en un estilo puede marcarlos o agobiarlos, incluso evitar que aprendan cosas que no se ajustan a la forma en que supuestamente aprenden y crear falsamente la impresión de que cuando tienen que hacerlo, es más difícil para ellos. La persistencia de los “estilos de aprendizaje” también socava la confianza en la investigación educativa que genera problemas de autoimagen en el alumnado (Sung, Hwang, Hung y Huang, 2012).

## TERCER MITO: EL CLASIFICADOR DE TIPOS DE PERSONALIDAD MYERS-BRIGGS

Otra creencia que ha permeado más en el campo laboral pero también en el educativo, es un gran mito denominado el *Myers-Briggs Type Indicator* (MBTI) [Indicador de Personalidad de Myers-Briggs], que fue inventado por Katharine Briggs y su hija Isabel Myers, dos amas de casa estadounidenses, quienes, basándose en la idea de tipología psicológica de Carl Jung, publicaron una prueba de personalidad en la década de 1940 (Boyle, 1995; Vermeren, 2013). Incomprendiblemente, hoy sigue siendo uno de los tests de personalidad más utilizados en el mundo laboral y ha tenido también repercusiones en el área de la

educación (Quiñones-Hinojosa, Chaichana y Mahato, 2020; R. Stein y Swan, 2019).

### EL MBTI

El formulario estándar está representado por cuatro indicadores, y define dieciséis supuestos *tipos de personalidad*. Cada categoría está representada por un método dicotómico con respecto a la diferencia de cómo ver las cosas y cómo interactuar con los demás.

Las cuatro categorías inventadas por Myers-Briggs son: extrovertido versus introvertido; sensorial versus intuitivo; racional versus emocional y juicio versus perceptual. De estas obtuvieron dieciséis etiquetas de la personalidad (Goby, 2006; McCauley, 2000; McCaulley y Martin, 1995; Quiñones-Hinojosa *et al.*, 2020; Saggino *et al.*, 2001; Thorne, Fyfe y Carskadon, 1987) que son las siguientes: extrovertido, sensorial, lógico, racional (ESTJ); extrovertido, intuitivo, lógico, racional (ENTJ); introvertido, sensorial, lógico, racional (ISTJ); extrovertido, intuitivo, ético, racional (ENFJ); introvertido, intuitivo, lógico, racional (INTJ); extrovertido, sensorial, ético, racional (ESFJ); introvertido, intuitivo, lógico, irracional (INTP); introvertido, intuitivo, ético, irracional (INFP); introvertido, intuitivo, ético, racional (INFJ); introvertido, sensorial, ético, racional (ISFJ); extrovertido, intuitivo, lógico, irracional (ENTP); extrovertido, sensorial, lógico, irracional (ESTP); extrovertido, intuitivo, ético, irracional (ENFP); extrovertido, sensorial, ético, irracional (ESFP); introvertido, sensorial, lógico, irracional (ISTP); y, por último, introvertido, sensorial, ético, irracional (ISFP).

Algunos trabajos académicos como el de Rodríguez, Burgos y Muños (2018) han llevado estas divisiones al aula y tratan de aplicarlas a los métodos de enseñanza.

### DISCUSIÓN

En la actualidad, se estima que dos millones de personas realizan anualmente la prueba MBTI, lo que demuestra cuán conocido es por la población en general este test (Vermeren, 2013). Sin embargo, la gran popularidad del instrumento no es necesariamente una indicación de su precisión y utilidad, y puede ser crucial comprender por qué las personas se sienten atraídas por realizar tales cuestionarios si las etiquetas no tienen una aplicación práctica positiva (Boyle, 1995), especialmente en las aulas de clases.

Estudios han demostrado que, durante un período de sólo un mes, alrededor del 50% de las personas reciben diferentes resultados, lo que sugiere que los tipos de MBTI son, además de inestables, inexactos (Capraro y Capraro, 2002). A principios de la década de 1990, se sugirieron aplicaciones prácticas de la prueba MBTI en entornos laborales porque se creía que conocer los tipos de personalidad de los trabajadores y de los colegas aumentaba la productividad en el lugar de trabajo. También esperaban que mejoraría la colaboración entre los empleados y ayudaría en la asignación de responsabilidades. Sin embargo, lo único que logró fue generar divisiones entre los compañeros, rivalidades y formar bandos (Harvey, Murry y Stamoulis, 1995).

Revisiones posteriores de la literatura concluyeron que no hay suficiente evidencia para respaldar la utilidad de la prueba. Usar el MBTI para seleccionar empleados o hacer otras formas de evaluación, por ejemplo, académica, puede no estar justificado debido a la falta de evidencia empírica que respalde tal acción (Stein y Swan, 2019).

La teoría MBTI falla en criterios teóricos rigurosos en el sentido de que carece de concordancia con hechos y datos conocidos, precisa de capacidad de prueba y posee contradicciones internas (Stein y Swan, 2019).

## CUARTO MITO: LAS INTELIGENCIAS MÚLTIPLES

A principios de la década de 1980, Gardner estudió las habilidades cognitivas y el rendimiento académico de algunas personas. En su muestra había tanto estudiantes sobresalientes como personas con daño cerebral (Gardner, 1983). El psicólogo, junto con su equipo, defendían —ahora con menos vehemencia (Ferrero, Vadillo y León, 2021)— que los resultados académicos de los estudiantes, y de las personas en su vida en general, depende no sólo de su talento e intereses, sino de cómo se apropian epistemológicamente de la información y de cuáles áreas de su cerebro están más o menos desarrolladas. Esta teoría ha dado lugar a las llamadas *inteligencias diferenciadas* o *inteligencias múltiples* (Gardner, 1999)

La teoría asegura que, si un estudiante no entiende la estructura gramatical de un idioma, por ejemplo, esto no significa que no tenga habilidades lingüísticas, sino que debe adoptar un enfoque diferente para visualizar la información de manera ordenada y sistemática, como en una tabla o en mapa conceptual porque su inteligencia no es verbal, sino visual (Sulaiman, Abdurahman y Rahim, 2010).

Gardner sugirió que, desde el punto de vista del diseño de la inteligencia, el cerebro no es un todo único, sino muchos “bloques independientes”, cada uno de los cuales es responsable de diferentes habilidades y capacidades. En 1983, publicó el libro *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences* [Estructuras de la mente: la teoría de las inteligencias múltiples] (Gardner, 1983; 1999) en el que formuló la teoría de que existen distintos “tipos de inteligencia”.

Según Gardner, las inteligencias diferenciadas son las siguientes: inteligencia visual-espacial, inteligencia lógico-matemática, inteligencia verbal-lingüística, inteligencia musical, inteligencia kinestésico-corporal, inteligencia personal, inteligencia interpersonal, inteligencia intrapersonal, inteligencia existencial (Gardner, 1983) y, por último, inteligencia naturalista (Gardner, 1999).

## DISCUSIÓN

El argumento central de Gardner es que estas inteligencias son independientes, con una relación nula o muy débil entre ellas. Normalmente, una persona tiene muchos “tipos de inteligencias” bien formadas, aunque algunas de ellas pueden estar mucho menos desarrolladas que las primarias (Gardner, 1983). Por ello, los individuos que demuestran ser brillantes en un área pueden tener dificultades para aprender, incluso el currículo escolar, en otra (Sadiku *et al.*, 2020).

Algunos estudios (van der Ploeg, 2019) después de analizar una serie de artículos científicos que supuestamente confirmaban la confiabilidad de la teoría de las inteligencias múltiples, notaron violaciones en la realización de los experimentos. Por ejemplo, que a los grupos de personas que probaban las ideas de Gardner se les daba más tiempo para estudiar que a los grupos de control. Y los resultados positivos de la aplicación del concepto, que se ajustaban al margen de error y no tenían significación estadística, fueron muchas veces interpretados a favor de la teoría de las inteligencias múltiples (van der Ploeg, 2019).

Hay una alta probabilidad de que la teoría de las inteligencias múltiples no sea más que un mito. La mayoría de los científicos no han reconocido las ideas de Gardner, y el propio psicólogo ha reconocido que la teoría no ha sido demostrada experimentalmente (Strauss, 2020; Ferrero, Vadillo y León, 2021).

Gardner simplemente mezcló inteligencia, talentos, rasgos de carácter y habilidades adquiridas y lo llamó "inteligencia" (van der Ploeg, 2019). Sin embargo, los “tipos de inteligencia” que Gardner distingue están estrechamente relacionados y, para sus detractores, esto confirma la teoría de la inteligencia

general por encima de la división artificial de “las inteligencias” (Furnham, 2009; Ferrero, Vadillo y León, 2021).

A pesar de la posible naturaleza pseudocientífica del concepto, Gardner podría tener razón en que no existe una sola forma de enseñar. Si bien el intelecto humano es una unidad integral, se deben considerar las características de los estudiantes y presentar la información de diferentes maneras, aunque eso no signifique que a cada estudiante haya que darle una clase por separado. La inteligencia, por ello, es simplemente una con distintos atributos y aplicaciones.

## QUINTO MITO: LAS NIÑAS SON MÁS INTELIGENTES QUE LOS NIÑOS O VICEVERSA

Este es un mito ampliamente discutido e investigado. Sin embargo, aún persisten muchos malentendidos al respecto. Por ejemplo, que los niños son más capaces en el área de las matemáticas, pero que las niñas son más aptas para idiomas, incluido el materno (Padilla, 2009). Dentro de estas inequidades se afirma además que las niñas pueden realizar múltiples tareas al mismo tiempo, que los niños no y que, en definitiva, ellas son más inteligentes que los niños. En este sentido, desde el trabajo ya clásico de McFarland (1969) [*Are Girls Really Smarter?*] hay discrepancia.

Existen muchos mitos con relación a si un género es mejor que el otro. Que los niños son mejores en aritmética que las chicas es una creencia falsa, muy extendida, y no sólo entre los educadores, incluso algunos argumentan que existen razones biológicas o genéticas en ello (Van Mier, Schleepen y Van den Berg, 2019). Sin embargo, esta creencia debe ser cuidadosamente analizada por sus implicaciones negativas hacia las niñas. Se han realizado estudios que arrojan resultados por países que indican con frecuencia que las mujeres obtienen calificaciones tan buenas o mejores que los niños en matemáticas (Skočajić, Radosavljević, Okičić, Janković y Žeželj, 2020). Además, se ha descubierto que la investigación histórica en la que se basa la teoría de la diferencia no siempre es científicamente válida, por lo que se han rechazado los resultados anteriores que pretendían confirmar estas disparidades (Cox, Abramson, Devine y Hollon, 2012).

McFarland (1969) y Voyer y Voyer (2014) en lo que respecta a los niños y las niñas de una misma clase, determinaron que los cursos separados para las mujeres tampoco parecen ser ventajosos. La existencia de clases diferenciadas

en algunos países así lo puso de manifiesto (Fournier, Durand-Delvigne y De Bosscher, 2020).

En otro metaanálisis sobre las desigualdades de género en el rendimiento académico, se demostró (Voyer y Voyer, 2014) que las calificaciones escolares no siempre reflejan el aprendizaje en un entorno social, más allá del aula, y que se debería evaluar a los alumnos durante largos periodos para sacar conclusiones plausibles de largo alcance. Mientras que los exámenes estandarizados examinan talentos y aptitudes académicas fundamentales o especializadas en un sólo momento, no necesariamente tendrán efectos sociales (Sjøberg, 2015). Por lo anterior, en realidad no existe fundamento alguno para suponer que las niñas o los niños sean “más inteligentes” que el sexo opuesto.

## DISCUSIÓN

En contra de la creencia generalizada convertida en estereotipo de que los varones obtienen mejores resultados en matemáticas y ciencias que las niñas, y que éstas obtienen mejores calificaciones en general que los niños en la escuela, las disparidades de género son una mezcla de variables culturales y sociales que podrían explicar algunos resultados según la ubicación de la escuela. Es decir, la diferencia de rendimiento entre mujeres y chicos no es real a largo plazo y depende del entorno, por ejemplo, donde el nivel de ausentismo de las niñas es mayor porque deben hacerse cargo de los hermanos menores o en donde los niños trabajan en el campo y no van regularmente a la escuela (Grossman y Tierney, 1998).

El dominio de la materia suele dar lugar a puntuaciones más altas que el enfoque del rendimiento, por lo que esto podría explicar en parte por qué los chicos obtienen notas más bajas que las chicas (Sjøberg, 2015). En resumen, podemos deducir que, en muchas investigaciones, los niños obtienen mejores resultados en matemáticas que las niñas, aunque en otros estudios, las chicas obtienen a veces mejores resultados. Sin embargo, las variaciones son tan insignificantes que no hay motivo de especulación. El sexo del alumno no es un indicador fiable del rendimiento ni del aprovechamiento, y mucho menos de la inteligencia o capacidad de adaptación al entorno social, laboral y familiar (Fournier *et al.*, 2020).

## CONCLUSIONES PARCIALES

Con el auge de la neurociencia cognitiva, una gran cantidad de resultados de investigación han nacido en laboratorios de todo el mundo, y la comprensión de los seres humanos de su propia estructura cerebral y función cognitiva ha entrado en una nueva era. Las implicaciones de la neurociencia para la educación son, sin duda, enormes, y el estudio del cerebro de los alumnos es de gran importancia para el uso de nuevas didácticas en la educación. Sin embargo, aplicar la investigación neuronal básica a la enseñanza en el aula no es algo fácil. Los neuromitos son un factor negativo que dificulta la práctica de la neurociencia en el aula, y son, sorprendentemente, también comunes entre los profesores. Como se ha visto hasta aquí, los neuromitos son creencias falsas que surgen de la mala interpretación o tergiversación de los resultados de la investigación del cerebro en la educación y en otros campos.

Algunos investigadores han utilizado cuestionarios sobre mitos neuronales para conocer las creencias entre docentes de diferentes niveles, en varios países y regiones. El metaanálisis de los resultados de las encuestas a docentes de once países encontró que el promedio de neuromitos típicos que los docentes no podían juzgar correctamente alcanzaba el 50% en promedio (Howard-Jones, 2014). Por ejemplo, entre los docentes de diferentes países, el neuromito más difundido es que, como ya se explicó, "sólo usamos una parte del cerebro" (Macdonald, Germine, Anderson, Christodoulou y McGrath, 2017).

Cuando los docentes enseñan con conceptos de neurociencia cognitiva mal interpretados, esto tiene un impacto negativo en los estudiantes y en la enseñanza, principalmente en forma de recursos educativos mal encaminados, distorsionando la investigación en el aula y reduciendo la confianza de los alumnos.

Además del desperdicio de recursos didácticos, los métodos de enseñanza basados en mitos neuronales también pueden afectar la implementación fluida de la investigación básica. En la actualidad, la investigación en neurociencia educativa se dedica a explorar la relación entre los objetivos de aprendizaje, la evaluación del aprendizaje, el contenido del aprendizaje y la tecnología del aprendizaje más conveniente.

Aunque se han dado algunos pasos, todavía existen problemas que no pueden ser explicados por los resultados de la investigación. Por ejemplo, cómo las actitudes de los docentes, las motivaciones y las expectativas de los estudiantes afectan el aula; el impacto de las emociones en la motivación del

aprendizaje, la toma de decisiones, la atención, la memoria; y otros problemas relacionados, por ejemplo, con el género.

En el aula se arraigan ciertos neuromitos, como el de las inteligencias múltiples o el de los distintos tipos de personalidades (MBTI), lo que puede conducir a la distorsión del entorno de enseñanza real del aula, afectando así la investigación y la didáctica objetiva, e incluso sacando conclusiones erróneas. Existen otros neuromitos que no se abordan aquí pero que pueden citarse, por ejemplo: que “hay un cerebro izquierdo racional y otro derecho emocional” (Hageman, Waldstein y Thayer, 2003).

No hay duda de que la neurociencia puede inspirar y ayudar a la educación. Una gran parte de la investigación en neurociencia se dedica a mejorar la eficiencia del aprendizaje de los alumnos. Sin embargo, debido a la brecha entre el laboratorio y el aula, algunos resultados de la neurociencia se distorsionan y se malinterpretan, lo que genera una comprensión de la neurociencia errónea.

Los medios de comunicación tienen una responsabilidad ineludible en el proceso de no-difusión de los neuromitos, ya que pueden hacer que estos se enraícen, añadiendo contenidos sesgados con efectos sensacionalistas, como en la cinematografía, e ignorando información clave en el proceso de adquisición de información y desarrollo de habilidades cognitivas.

Al diseñar la capacitación específica, fortalecer la comunicación entre científicos y educadores y construir una disciplina integral que pueda ser discutida, se podría ayudar a disipar los neuromitos y a construir un puente real entre la neurociencia y el salón de clases. Capacitar a los docentes en psicología cognitiva, diseñar cursos destinados a mejorar la alfabetización en neurociencia para aprender cómo distinguir el conocimiento de la especulación, y dotar a los profesores de la capacidad de adoptar conclusiones científicas en el aula, los hará capaces de aplicar las conclusiones de laboratorio al desarrollo de entrenamientos y protegerá a los alumnos de la influencia de las pseudociencias.

Una de estas conclusiones del laboratorio es el tema de la neuroplasticidad para sacar provecho de los adelantos que puedan venir sobre la ciencia del cerebro aplicada a la educación, como se verá en el próximo apartado.



## II. NEUROPLASTICIDAD: RECONSTRUCCIÓN, APRENDIZAJE Y ADAPTACIÓN

### INTRODUCCIÓN

El objetivo de este apartado es analizar el fenómeno de la neuroplasticidad como un factor determinante en el desarrollo integral del ser humano, tanto por factores físicos-biológicos como por factores psíquicos e incluso adaptativo-sociales. Se argumenta que entender la neuroplasticidad del cerebro y del sistema nervioso en su conjunto es la llave para fomentar prácticas educativas inteligentes dirigidas al aprendizaje como un proceso que puede ser modelado a favor del educando. La educación en general es el elemento potenciador cognitivo que genera neuroplasticidad positiva a un nivel de transformación extendida, productiva y constante.

### LA NEUROPLASTICIDAD O PLASTICIDAD CEREBRAL

Cuando se habla de plasticidad en el sistema nervioso central se refiere a la propiedad de cambiar estructural o funcionalmente su configuración, a partir de respuestas a estímulos provenientes del mundo exterior (Fuchs y Flügge, 2014). Originalmente era un término que denominaba un fenómeno neural básico de regeneración, pero hoy en día la neuroplasticidad puede incluir una amplia gama de fenotipos como el comportamiento. Los fenotipos son rasgos observables de un individuo, como sus características físicas, pero también pueden incluir aspectos conductuales (Deans *et al.*, 2015).

El cerebro, especialmente cuando se es bebé, y en la primera infancia, tiene una capacidad de aprendizaje y adaptación enorme. No es raro escuchar que un niño debidamente estimulado pueda comprender y hablar fluidamente dos, incluso tres idiomas (Langeloo, Mascareño Lara, Deunk, Klitzing y Strijbos, 2019). Tampoco es inaudito que un niño antes de entrar a la primaria ya pueda tocar un instrumento o manejar eficientemente una computadora (Graus, 2021). Sin embargo, conforme pasa el tiempo, el cerebro alcanza cierta estabilidad,

aunque esto no necesariamente significa que no se pueda aprender nuevas cosas en la edad adulta (Lilienfeld, Lynn, Ruscio y Beyerstein, 2011).

Neuroplasticidad es un término amplio que incluye todas las manifestaciones de cambios permanentes en la respuesta y estructura de las neuronas. Es un concepto acuñado para referirse a la maleabilidad del cerebro que se observa como cambios en la estructura y conectividad, producto de las influencias externas e internas (Allen, 2020). A su vez, los neurólogos definen la neuroplasticidad como un cambio visible en la respuesta de las neuronas, inducido por estímulos ambientales, aprendizaje, o por un daño al sistema nervioso central (Prosperini y Di Filippo, 2019).

El fenómeno de la neuroplasticidad no se descubrió sino hasta mediados del siglo XX, ya que, en los estudios anteriores, se afirmaba que las vías nerviosas eran fijas e invariables, y que, por ejemplo, las neuronas dañadas no podían regenerarse (Costandi, 2016). Este es otro neuromito que prevaleció por mucho tiempo (Rebolledo, 2021).

Los primeros argumentos en contra de la teoría de la incapacidad del cerebro dañado para autorrepararse fueron presentados por Geoffrey Raisman en 1969, quien demostró empíricamente, mediante imágenes de microscopio electrónico, que el daño cerebral en el área de las estructuras del hipocampo conducía a la formación de nuevas sinapsis (Raisman, 1969). En el pasado, la plasticidad cerebral se entendía sólo como cambios de reparación que se producían después de haber sufrido algún daño (Azmitia, 2007).

Como puede advertirse, hoy se sabe que la neuroplasticidad implica cambios estructurales y funcionales en todo el sistema nervioso. Es un proceso fundamental y se basa, además, en el aprendizaje de nuevas habilidades cuando se modifican las condiciones externas o internas del medio, como consecuencia de alteraciones en el funcionamiento del sistema nervioso. La plasticidad da la posibilidad de adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno, la autorreparación, el aprendizaje y la memoria (Gibbons, 2019).

La neurociencia moderna adopta una definición amplia de neuroplasticidad que incluye cambios permanentes en las propiedades de las células nerviosas, que ocurren bajo la influencia de ciertos estímulos ambientales. A nivel sistémico, la plasticidad es una propiedad del sistema nervioso que asegura su capacidad de adaptación, cambio, reparación y, finalmente, aprendizaje y memoria (Beauparlant *et al.*, 2013; Lazzouni y Lepore, 2014). Se considera que es una característica común de las neuronas que se encuentran en todos los niveles del sistema nervioso. Hay plasticidad del

desarrollo, plasticidad compensatoria después de una lesión, plasticidad causada por una mayor experiencia sensorial y motora, y plasticidad relacionada con el aprendizaje y la memoria, por mencionar las mejor documentadas (Costandi, 2016).

Por tanto, el cerebro tiene una habilidad especial para desarrollarse continuamente, responder a condiciones cambiantes y adaptarse a ellas. La neuroplasticidad permite el desarrollo del sistema nervioso central bajo la influencia de las condiciones ambientales cambiantes, el recuerdo y el aprendizaje de nuevas habilidades, la adaptación a los cambios en el entorno externo y la activación de procesos compensatorios en el caso de enfermedades neurológicas. Esto se debe a las propiedades de las neuronas que permiten que se produzcan cambios en el sistema nervioso en respuesta a las necesidades del organismo y a los desafíos de la realidad circundante (Gibbons, 2019).

## LAS NEURONAS

Las capacidades mentales de una persona están condicionadas por la actividad del cerebro. El tejido cerebral está formado básicamente por neuronas y células gliales, que sirven, como ya se dijo antes, de soporte, y que en relación con las neuronas, cumplen funciones relevantes, por ejemplo, nutritivas, aislantes, estructurales, metabólicas y tróficas, esto es, alimentarias; aún sin participar activamente en el proceso de información del sistema nervioso (Munkhdalai, Yuan, Mehri y Trischler, 2018). Las gliales no son las “células silenciosas” como se creyó por muchos años (He y Sun, 2007; Sasse, Neuert y Klämbt, 2015). Las células gliales son un término general que engloba varios tipos de células, como las microgliales, los astrocitos y las células de Schwann, cada una de las cuales desempeña funciones distintas para mantener la salud del cerebro y son las principales responsables de proporcionar apoyo y protección a las neuronas, mantener la homeostasis, eliminar los desechos y producir mielina. Se encargan de cuidar las neuronas y el entorno que las rodea (Guy-Evans, 2021).

El número de neuronas se estima en unos 86 000 a 100 000 millones (Cherry, 2020), pero las funciones mentales no dependen únicamente del número de neuronas, sino sobre todo de las conexiones que estas células establecen entre sí. Los investigadores siguen trabajando para entender los procesos cognitivos y abstractos que realiza el cerebro, y aún están buscando una forma de comprender la naturaleza de los procesos mentales (Damasio, 1999, 2007, 2010, 2011). Se han formulado varias hipótesis para explicar los mecanismos complejos del cerebro, algunas teorías han sido sustentadas por

experimentos. También, en la historia de la investigación sobre la organización de las funciones mentales han surgido varias teorías que dependen de la orientación metodológica que se aplicó (Chung *et al.*, 2014; Luria, 1980).

Las interpretaciones neurológicas y neurofisiológicas de los mecanismos cerebrales del funcionamiento humano oscilan dentro de dos conceptos o escuelas: quienes están a favor de la localización estrecha de las funciones, esto es, la explicación psicomorfológica (Luria, 1980), y quienes abogan por la antilocalización de las funciones cerebrales, o sea, quienes tienen una visión holística, no situada (Thatcher y John, 2021; Morandín-Ahuerma, 2021).

Hay una diferencia entre estas teorías y la forma en que se explica la organización de las funciones mentales en el cerebro. Los representantes del concepto de localización estrecha defienden la posición de que el cerebro es un conjunto formado por muchos órganos anatómicamente separados que regulan funciones individuales, lo que representa un enfoque mecanicista (Gelfand, 1999; Mundale, 1998). A la luz de sus puntos de vista, suponen que las partes individuales del cerebro, de alguna manera divididas en especializaciones, pueden fortalecerse e incluso crecer, bajo la influencia de ciertos factores, por ejemplo, el ejercicio mental y físico (Mundale, 1998).

En cambio, los representantes del concepto antilocalizacionista creen que el cerebro forma un todo anatómico, y que cada actividad superior es una función de este todo, y que sólo las habilidades elementales que componen procesos complejos pueden ubicarse en áreas aisladas del cerebro (Damasio, 2010).

Sin embargo, las teorías de localización que muestran la relación entre una parte específica del cerebro y una propiedad mental dada están siendo abandonadas hoy en día. La mayoría del funcionamiento del cerebro se interpreta en la perspectiva de las teorías holísticas y dinámicas, asumiendo que el cerebro es un sistema de elementos que cooperan integralmente y se ejecutan entre ellos procesos que determinan la homeostasis biológica del organismo y que definen las capacidades mentales de un ser humano (Nowak, Vallacher, Zochowski y Rychwalska, 2017).

En los últimos años, las técnicas de neuroimagen se han utilizado para investigar sobre la organización cerebral de los procesos mentales, lo que amplía el espectro de posibilidades de investigación y aporta nuevos datos sobre la organización de las funciones cognitivas en el cerebro (Harenski, Harenski y Kiehl, 2014). Los aparatos especializados permiten conocer mejor la anatomía y fisiología del cerebro en toda la dinámica de su funcionamiento, y gracias a los

estudios de neuroimagen se han comprendido mejor las estructuras funcionales del cerebro y su bioquímica (Wei, Li, Jin, Wu, Ma y, Mao, 2020).

Las propiedades de una neurona están determinadas tanto por su ubicación y las conexiones efectivas que crea con otras neuronas como por las proteínas que sintetiza y los neurotransmisores secretados. Al crear conexiones apropiadas, las neuronas envían sus axones en una dirección específica; este proceso puede estar influido genéticamente o determinado por la actividad de las moléculas quimiotrópicas, que es un mecanismo que puede atraer axones en crecimiento (Franze, 2020; Wei *et al.*, 2020).

Hasta el momento sólo se han descrito algunos neurotransmisores. Los neurotransmisores se dividen según sus funciones: a) neurotransmisores que tienen un efecto excitatorio sobre las neuronas, que aumentan la probabilidad de que la neurona dispare su potencial de acción y entre los que se incluyen acetilcolina, dopamina, serotonina, ácido glutámico, norepinefrina, purinas, adenosín trifosfato y algunos neuropéptidos (Spergel, 2019); b) los que inhiben la actividad de las neuronas, entre los que se encuentran el ácido gamma-aminobutírico (GABA) y la serotonina (Romaus-Sanjurjo, Ledo-García, Fernández-López, Hanslik, Morgan, Barreiro-Iglesias y Rodicio, 2018); y c) los neurotransmisores modulatorios, que pueden actuar sobre más neuronas al mismo tiempo e influyen en la acción de otros mediadores químicos como la acetilcolina y la dopamina, que son excitadores o inhibidores, según el tipo de receptores presentes (Romaus-Sanjurjo *et al.*, 2018; Balasubramanian, Balamurugan, Chen y Sathesh, 2018).

## NEUROGÉNESIS

La neurogénesis es una función adaptativa importante del cerebro cuya tarea es compensar las células dañadas como resultado de causas patológicas o de otro tipo. Las capacidades funcionales del cerebro humano se desarrollan desde las primeras etapas de la vida prenatal hasta la edad adulta, y la organización cerebral de las funciones cognitivas puede sufrir transformaciones. En todas las etapas, existen factores que pueden determinar el potencial biológico del cerebro y las habilidades de un ser humano (Yin, Zhu, Wang y Qin, 2018).

El cerebro en desarrollo es muy maleable, por lo que se dice que aprende más rápido, asimila la mayor cantidad de información y domina un extenso repertorio de control de movimiento. Durante este período, incluso un daño cerebral mayor puede compensarse más rápido (Wei *et al.*, 2020; Yin *et al.*, 2018). Tanto las áreas especializadas de la corteza cerebral como los centros

subcorticales pueden cambiar su especificidad normal (Toda, Parylak, Linker y Gage, 2019).

La neurogénesis comienza en la etapa de formación fetal y es responsable del *asentamiento* del cerebro en crecimiento. Ya en la tercera semana después de la concepción, comienzan a formarse las células diseñadas para construir el sistema nervioso, y en la semana catorce, el cerebro del niño se vuelve similar al cerebro del adulto, con la excepción de la presencia de surcos y circunvoluciones en él (Toda, Parylak, Linker y Gage, 2019; Wei *et al.*, 2020).

La neurogénesis es la formación de nuevas neuronas a partir de células madre progenitoras neurales que se produce en el cerebro a lo largo de la vida. La capacidad de aprender cosas nuevas está asociada con los procesos de neurogénesis (Franze, 2020).

Los estímulos que favorecen el proceso de neurogénesis incluyen el proceso de aprendizaje, el ejercicio físico como correr, y la actividad social. Los estímulos negativos incluyen estrés, actividad excesiva, privación crónica del sueño, abuso de opiáceos, alcohol y muchas otras prácticas que generalmente son negativas para el cerebro (Baumann *et al.*, 2020).

## SINAPSIS

El intercambio de información entre las neuronas se produce a través de las sinapsis. Las sinapsis se forman con las dendritas de las células nerviosas mediante la elongación vigorosa de los axones durante el desarrollo, lo que da como resultado nuevas conexiones y reconexiones de los circuitos neuronales, y se completan redes complejas (Franze, 2020).

Una sinapsis es una formación especial que transmite un impulso nervioso de una neurona a otra como el punto de contacto de dos neuronas. La sinapsis consta de una membrana presináptica, una membrana postsináptica y una hendidura sináptica entre ellas, que está llena de un líquido que se parece al plasma sanguíneo en su composición. Según el mecanismo de transmisión de impulsos, las sinapsis se dividen en químicas y eléctricas (Franze, 2020; Pereda, 2014; Wei *et al.*, 2020).

Según el tipo de neurotransmisor, la sustancia química que interviene en la transmisión, se distinguen las sinapsis excitadoras e inhibitoras. Los neurotransmisores, como ya se ha dicho, son sustancias liberadas bajo la influencia de un estímulo de las neuronas presinápticas, que conducen a la excitación de la neurona postsináptica (Ribeiro, Yang, Patel, Madabushi y Strauss, 2019).

La membrana presináptica de un impulso químico contiene neurotransmisores, la sustancia que se libera en la hendidura sináptica y participa en la transmisión de un impulso nervioso. En la membrana postsináptica hay receptores para el neurotransmisor correspondiente. Así, un impulso nervioso, habiendo llegado al final de la primera neurona, provoca la liberación de moléculas neurotransmisoras en la hendidura sináptica, que actúan sobre el final de la segunda neurona y generan un impulso en ella (Choquet y Triller, 2003).

En el caso de las sinapsis eléctricas, la transmisión de impulsos ocurre debido al flujo de corriente iónica en el punto de contacto entre dos neuronas. Las sinapsis eléctricas transmiten la excitación mucho más rápido que las sinapsis químicas (Li *et al.*, 2019). Las sinapsis eléctricas se forman entre las células que forman uniones estrechas entre las membranas. A través de los canales iónicos comunes la información se transmite utilizando corrientes eléctricas, y por los canales de las sinapsis eléctricas las células también pueden intercambiar moléculas señalizadoras de pequeño tamaño y de naturaleza orgánica. Estas sustancias pueden moverse en sinapsis eléctricas a alta velocidad en ambas direcciones, y la información transferida con su ayuda también puede transmitirse en ambas direcciones, a diferencia de las sinapsis químicas. Las sinapsis eléctricas se detectan con mayor frecuencia en áreas del cerebro en las que se registra actividad neuronal altamente sincronizada (Choquet y Triller, 2003).

### PODA Y RALENTIZAMIENTO

La característica más importante de la neuroplasticidad del desarrollo es el fenómeno de sobreproducción y muerte de células nerviosas, conocida como apoptosis, y con ello la desaparición de conexiones sinápticas funcionalmente no utilizadas.

La apoptosis es un tipo de muerte celular *programada* porque las células siguen un conjunto de instrucciones homeostáticas que permiten que la célula muera sin causar inflamación o daño a ninguna de las células sanas que la rodean (Mehrbod *et al.*, 2019). La apoptosis es muy diferente de otro tipo de muerte celular llamada necrosis. En la necrosis, la célula muere muy rápidamente, lo que puede dañar las células sanas cercanas y causar inflamación. Con el tiempo, todas las células sanas envejecen y se dañan. La apoptosis es el proceso que permite que el cuerpo elimine estas células viejas y dañadas (Peng, Chen, Ouyang y Song, 2015).

Crear las conexiones adecuadas a través de axones, proyecciones, y transmisores químicos es un proceso complejo, con intensidad variable a lo largo de la vida. Su curso está determinado por la información almacenada en el ADN (Mehrbood *et al.*, 2019). Sin embargo, la predisposición genética sigue siendo modificada por la experiencia y, por lo tanto, el cerebro puede moldearse siempre.

Muchas células nerviosas recién formadas sufren apoptosis en los primeros siete meses de vida, del 40% al 80%, es decir, autodestrucción programada e irreversible por la llamada *poda* (Coolidge y Wynn, 2018).

Los elementos de las neuronas son eliminados por los macrófagos o absorbidos por las células vecinas. Los macrófagos son células capaces de absorber y digerir partículas extrañas o nocivas para el organismo como son las bacterias, y restos de células destruidas (Kierdorf, Prinz, Geissmann y Gómez-Perdiguero, 2015).

## TIPOS DE NEUROPLASTICIDAD

El cerebro crece y cambia a lo largo de la vida. Desde la concepción hasta la vejez se produce una organización y reorganización funcional que estructura las conexiones sinápticas de las redes neuronales, que atiende tanto factores genéticos como ambientales. Debido al mecanismo que activa los procesos de plasticidad en el cerebro, los neurobiólogos distinguen varios tipos de plasticidad: compensatoria, por adicciones, por experiencia, por desarrollo y por aprendizaje, básicamente (Costandi, 2016).

### PLASTICIDAD COMPENSATORIA

Los cambios plásticos también desempeñan un papel importante cuando otras regiones del cerebro compensan las funciones perdidas. En los jóvenes, esto implica la modificación del circuito neuronal con la extensión de los axones y la formación de nuevas sinapsis, mientras que, en los individuos maduros, las neuronas dañadas circundantes compensan su función construyendo una nueva red funcional bajo el circuito neuronal existente (Lazzouni y Lepore, 2014).

Gracias a la plasticidad es posible recuperar funciones después de haber sufrido un evento que afecte funciones como la motora o el habla. La plasticidad compensatoria del cerebro adulto, o plasticidad de reparación, tiene lugar después de un daño mecánico o por un proceso de enfermedad. Aunque la capacidad del cerebro para regenerarse es insignificante en comparación con

otros tejidos del cuerpo, gracias al proceso de neuroplasticidad compensatoria es posible restaurar las funciones alteradas remodelando la organización cerebral de la cadena funcional y compensando el deterioro cognitivo causado por el daño (Beauparlant *et al.*, 2013; Lazzouni y Lepore, 2014).

Así, la plasticidad compensatoria es el resultado de que las funciones de una parte del cerebro dañado sean reemplazadas por otra estructura no dañada. Tanto en niños como en adultos se tiene la capacidad cerebral para crear una nueva red de conexiones nerviosas cuando hay una estructura comprometida.

La plasticidad compensatoria frecuentemente se presenta de manera posterior a una lesión, y como consecuencia, puede presentarse la recuperación de ciertas habilidades perdidas. Como resultado del daño al sistema nervioso puede haber dos procesos antagónicos que ocurren simultáneamente en el cerebro: la desintegración de las conexiones debido a diversos cambios degenerativos, y la compensación, que es debido a la neuroplasticidad. Esto puede ocurrir inmediatamente después del daño, pero también en un período posterior, incluso distante (Beauparlant *et al.*, 2013).

La plasticidad también se desencadena cuando el desarrollo no se lleva a cabo correctamente, cuando hay una interrupción de la función o daño estructural y en períodos críticos particulares del desarrollo cerebral, y es cuando se necesitan estímulos sensoriales del entorno para un desarrollo adecuado (Kupers y Ptito, 2014; Lazzouni y Lepore, 2014). Se entiende por periodos críticos del cerebro a la fase en el desarrollo del sistema nervioso central. Esto es la ontogénesis, en la que puede estar fuertemente influenciado por factores externos. El sistema nervioso reacciona de forma particularmente sensible a las privaciones, la mala nutrición o los defectos genéticos. En ese momento, hay un vigoroso brote de axones y dendritas, así como formación de sinapsis y proliferación de células gliales; se forma una primera interconexión básica de las células nerviosas (Cisneros-Franco, Voss, Thomas y de Villers-Sidani, 2020).

Existen estudios sobre la plasticidad temprana de la corteza visual que han permitido comprender el efecto de la activación coherente de los axones que llegan a una neurona sobre el cambio en la fuerza de sus sinapsis a través de tapar un ojo a un gato o a un mono (Lazzouni y Lepore, 2014; Schmidt, Goebel, Löwel y Singer, 1997; Wang, Ni, Jin, Yu y Yu, 2019). En tal situación, las neuronas con información del ojo abierto forman fuertes sinapsis y se desprenden, anexando neuronas previamente estimuladas por el otro ojo, ahora cubierto,

lográndose un fenómeno que se denomina plasticidad de dominación ocular (Antonini y Stryker, 1993; J. Wang *et al.*, 2019).

Otro ejemplo de plasticidad compensatoria son las personas ciegas de nacimiento, quienes utilizan su corteza visual para fines completamente diferentes a los normales. Por ejemplo, existen centros relacionados con la memoria verbal. También lo necesitan para comprender los caracteres Braille (Koike, Sumiya, Nakagawa, Okazaki y Sadato, 2019; Sadato *et al.*, 1996)

La plasticidad de reparación después de un accidente cerebrovascular ocurre en un entorno molecular diferente al del cerebro normal ya que interactúa con procesos inflamatorios, edema, alteración de funciones metabólicas, cambios bruscos en el potencial de membrana, concentración iónica alterada, procesos de necrosis y apoptosis y degeneración de fibras (Crowe, Bresnahan, Shuman, Masters y Beattie, 1997).

La rehabilitación después de un accidente cerebrovascular apoya la plasticidad espontánea al crear nuevos circuitos neuronales y la reconstrucción de circuitos dañados a través de ejercicios de movimiento o habla (Ruscello y Vallino, 2020).

En las estructuras cerebrales se desencadenan cambios de reparación espontáneos denominados neurocompensación (Duda, Owens, Hallowell y Sweet, 2019), encaminados a la reintegración de las funciones cerebrales. Aunque el daño al cuerpo de la célula nerviosa puede conducir irreversiblemente a su muerte y causar pérdida de función a largo plazo, el corte del axón, conocido como axotomía, puede resultar en la muerte del axón, pero también puede regenerar, restaurar conexiones y, en consecuencia, restablecer la transmisión sináptica (Duda *et al.*, 2019). En el sitio del daño, la densidad de las conexiones neuronales cambia, y en el área adyacente, sobre la base de la reorganización compensatoria, se forman sistemas multineuronales que forman la base para la regeneración de las actividades realizadas hasta ahora por el área dañada (de Haan *et al.*, 2020).

En la función motora, otras regiones corticales compensan la función del área tras una disfunción del movimiento del cuerpo debido a un daño nervioso. Un fenómeno similar se produce cuando se secciona el brazo y la corteza sensorial cortical se sitúa junto al área que inerva los movimientos faciales, de modo que tocar la cara provoca dolor en el brazo que ya se ha perdido, un fenómeno conocido como dolor fantasma (Capuzzi, Muratov y Tropsha, 2017).

## PLASTICIDAD POR ADICCIONES

También ocurre plasticidad cerebral en el desarrollo en una adicción como resultado de la estimulación en el sistema de recompensas llamado dopaminérgico y se crean nuevas vías neuronales que consolidan un comportamiento determinado. La capacidad evolutiva del cuerpo para duplicar ciertas actividades que producen placer, resultado del consumo de sustancias adictivas, desde el azúcar, la cafeína, la nicotina hasta todo tipo de sustancias *suaves y fuertes*, potencian las conexiones sinápticas teniendo sensaciones distintas, pero, al final, con derivaciones parecidas (Ernst y Luciana, 2015; Saika *et al.*, 2018).

La ciencia ya no cree que un deseo irresistible por algo que empuja al sujeto a la autodestrucción sea una manifestación de *debilidad de carácter* o un *apego* químico-biológico (Volkow, Michaelides y Baler, 2019). El problema, al parecer, es mucho más profundo, o sea, se encuentra en las conexiones neuronales estables que se forman en el cerebro cuando una persona realiza tal o cual acción que no puede evitar (Baumann *et al.*, 2020; Volkow *et al.*, 2019).

La adicción también usa la plasticidad del cerebro para formar nuevas sinapsis y afecta directamente funciones como la memoria, la motricidad, la cognición, entre otras. Al consumir una sustancia adictiva una y otra vez, el cerebro participa en un aprendizaje negativo y se fomenta, lo que se cree una debilidad momentánea, se convierte en una necesidad neuronal y después en un valor absoluto, así que todo lo demás en su contexto, el trabajo, el hogar, la familia, los amigos, pasan a un segundo o tercer término por una necesidad biológica (Ribeiro *et al.*, 2019).

Por lo anterior, los tratamientos contra las adicciones desde la neuroplasticidad están siendo mucho más efectivos que aquellos que consideran que las adicciones son sólo una cuestión de voluntad (Wise y Robble, 2020).

## PLASTICIDAD POR EXPERIENCIA

Otro tipo de plasticidad es producto de la experiencia y es la capacidad del cerebro para transformarse por influencias de prácticas sensoriales externas, por lo que las vías neuronales específicas se amplifican por nuevas vivencias adquiridas.

Como se ha dicho antes, hace 40 años, en los años 80, la mayoría de los investigadores del sistema nervioso creían que después del final del período

crítico, cuando cesaban los cambios en el desarrollo, las propiedades de las conexiones neuronales permanecían estables y sin cambios (Fuchs y Flügge, 2014).

Sin embargo, los estudios experimentales han demostrado la capacidad del sistema nervioso maduro para sufrir una mayor reorganización funcional, por ejemplo, en relación con la vivencia de nuevas experiencias (Lillard y Erisir, 2011).

En estos casos, la posibilidad de restablecer las conexiones neuronales funcionales está asociada a una estimulación específica. Los estudios que utilizan estimulación magnética transcraneal han demostrado que, durante el aprendizaje, por ejemplo, del lenguaje Braille en los ciegos, la representación cortical de los dedos se ensancha (Vetter *et al.*, 2021). El entrenamiento sensorial específico cambia los campos de recepción y las representaciones sensoriales en la corteza cerebral (Lillard y Erisir, 2011).

Por lo tanto, el aprendizaje es una forma de neuroplasticidad dependiente de la experiencia y la práctica. Tal plasticidad, dependiente del uso, hace que en una persona sana se modelen constantemente las relaciones neuronales y los mapas corticales.

Los procesos de aprendizaje también modifican la materia blanca del cerebro, influyendo en el grado de mielinización y el orden de las fibras nerviosas. Se ha demostrado que un entrenamiento motor intenso, por ejemplo, se estudiaron personas que tocaban el piano varias horas al día, provocaba un aumento de las conexiones asociativas córtico-cortical (Bengtsson *et al.*, 2005).

### PLASTICIDAD DEL DESARROLLO

Aquí se aplica el principio de que lo que no se usa desaparece y lo que se usa se fortalece y expande. Se le denomina plasticidad del desarrollo a la capacidad del cerebro para crear muchas conexiones neuronales nuevas conforme va adquiriendo diversas habilidades, por ejemplo, aprender a caminar y hablar, lo que asegura la adaptación del organismo a su medio ambiente. Los procesos neuroplásticos dinámicos en edad temprana están influenciados por la expresión de genes específicos y el nivel apropiado de estimulación neuronal como resultado de las interacciones sociales y ambientales (Voss, Thomas, Cisneros-Franco y de Villers-Sidani, 2017). Se ha descubierto que vivir en soledad también reduce la plasticidad neuronal (Vitale y Adam, 2022).

La plasticidad del desarrollo está relacionada con el progreso del cerebro según el patrón de activación y desactivación de genes relevantes y el patrón de

actividad funcional que provoca el crecimiento de los axones de las células nerviosas y la formación de conexiones entre las neuronas (Franze, 2020).

El control del movimiento humano es probablemente una de las funciones más importantes del sistema nervioso. Los científicos que estudian el movimiento creen que fue la capacidad de los animales y los seres humanos de desplazarse a ciertas distancias para obtener alimentos lo que condujo al desarrollo del sistema nervioso y a un cerebro tan dinámico (Masterton, 2019). Sin movimiento, no habría necesidad de analizar los numerosos estímulos y, por tanto, no se necesitaría la información de los receptores que reciben estos estímulos en forma de diversos tipos de energía y los convierten en una señal bioeléctrica legible para el sistema nervioso. Por ejemplo, los receptores musculares, articulares y cutáneos, la vista, el sentido del equilibrio, así como las influencias de los patrones de memoria recordados y, en última instancia, la posibilidad de sobrevivir (Debas *et al.*, 2010; Wenderoth, 2018).

Por lo tanto, es importante reconocer los mecanismos del sistema nervioso que controlan los músculos esqueléticos, los cuales, al generar fuerza muscular, mueven todo el aparato motor para inducir la dirección, el equilibrio e incluso el sentido de ubicación. En todo ello incide la plasticidad cerebral.

### PLASTICIDAD POR APRENDIZAJE

La plasticidad relacionada con el aprendizaje y la memoria es la capacidad del cerebro para crear nuevas vías neuronales como resultado de actividades repetitivas y memorizarlas. Las respuestas del organismo a los cambios que se producen en el entorno se configuran junto con la experiencia adquirida en la vida del individuo y determinan la capacidad de aprender y recordar (Debas *et al.*, 2010)

Resulta sorprendente que la plasticidad no sólo aplica la repetición de la ejecución física de una tarea motora, que está relacionada con la activación del sistema motor como el sistema muscular y esquelético, sino también el propio pensamiento sobre el movimiento. En otras palabras, imaginar que se realiza dicho movimiento o actividad puede provocar cambios plásticos dentro de la corteza motora primaria y constituye un factor en el proceso de aprendizaje motor (Debas *et al.*, 2010; Enoka, Amiridis y Duchateau, 2020)

Se han buscado mecanismos neurofisiológicos de la activación en tareas de imaginación motora, con inactividad muscular, y su relación con la activación de ciertas áreas cerebrales (Slimani, Tod, Chaabene, Miarka y Chamari, 2016). Además, se están investigando los mecanismos centrales que acompañan a la

imaginación de los movimientos en relación con estrategias de control en tareas diferenciadas (Reiser, Büsch y Munzert, 2011).

Los procesos de aprendizaje y memoria que dan como resultado la formación de la huella de la memoria se basan en el mecanismo de mejora sináptica a largo plazo. Se ha demostrado que a través del aprendizaje surgen nuevos circuitos neuronales, cuyas células están conectadas por sinapsis reforzadas, por lo que se produce plasticidad estructural (Brown, Chapman, Kairiss y Keenan, 1988). En roedores, se comprobó que las nuevas neuronas creadas en el hipocampo son importantes en la formación de una nueva huella de memoria. El desarrollo de tipos de memoria modifica la actividad de las neuronas en áreas específicas del cerebro, alterando así la morfología de las sinapsis y las dendritas (Jilg *et al.*, 2010).

La neuroplasticidad permite al cerebro tener en cuenta continuamente el entorno y almacenar los resultados del aprendizaje en forma de recuerdos. De este modo, el cerebro puede prepararse para futuros acontecimientos basándose en la experiencia.

La nueva educación basada en las neurociencias buscará constantemente nuevas posibilidades de influir en el cerebro, lo que contribuirá a mejorar su funcionamiento y velocidad de trabajo, y el uso completo de las posibilidades de los mecanismos de neuroplasticidad. Numerosos estudios han confirmado (Munkhdalai *et al.*, 2018) que gracias al trabajo mental sistemático y dirigido es posible aumentar significativamente las capacidades intelectuales, mejorar la memoria, la concentración y el pensamiento lógico al actuar sobre los procesos de plasticidad, por lo que es posible lograr una mejora significativa en aquellas capacidades aparentemente disminuidas (Costandi, 2016).

## ¿CÓMO POTENCIAR LA NEUROPLASTICIDAD?

La base de la investigación sobre neuroplasticidad se apoya en la tesis de que el sistema nervioso tiene la capacidad de realizar cambios funcionales y estructurales en las conexiones neuronales bajo la influencia de experiencias en las esferas física, mental, educacional y social. Se ha demostrado que la actividad diaria, el aprendizaje y el entrenamiento tienen un gran impacto en la eficiencia del cerebro (Bresciani, 2016; Watson, 2017).

## HACER EJERCICIO

El estudio de los logros en la investigación del cerebro durante la educación física está ganando cada vez más interés. Un estudio detallado de este problema tiene profundas raíces epistemológicas. La investigación del cerebro es de genuino interés científico, tanto desde el ámbito médico, psicológico, sociológico como en el aspecto general de la vida cotidiana.

Numerosos estudios muestran que el cerebro y las capacidades intelectuales de una persona cambian con la edad. Hasta la edad de 40 años, hay un crecimiento y desarrollo activo, y después, una disminución notable, de ahí el olvido, la fatiga y la incapacidad para absorber rápidamente la información (Van Ooyen y Butz-Ostendorf, 2017). Como ya se ha dicho, esto no significa que después de esa edad no sea posible incorporar nuevos aprendizajes.

Los ejercicios cíclicos, en particular la carrera, ayudan a ralentizar este proceso, que conduce al rejuvenecimiento biológico del sistema nervioso. Los científicos incluso dan una cifra específica: la edad biológica del cerebro de los corredores es hasta diez años más joven que la edad real. Correr y otras actividades aeróbicas tienen un efecto positivo en el aumento de las conexiones simpáticas en el hipocampo, que es responsable de la memoria, la percepción y el aprendizaje (Martino, Pluchino, Bonfanti y Schwartz, 2011).

Existen factores que en el proceso de estudio de este tema revelan los beneficios sistémicos del ejercicio. En particular, esto se aplica a la liberación de neurotransmisores, las sustancias químicas a través de las cuales se transmiten impulsos eléctricos, la sinapsis, entre las células nerviosas o de las células nerviosas a los músculos, a través de los axones, que en particular incluyen también hormonas (Franze, 2020). Estudios recientes en esta área muestran la gran importancia de la educación física sistemática en la producción de hormonas como la dopamina y la serotonina, entre otras (Heinze *et al.*, 2021).

## DORMIR BIEN

La participación del sueño en los mecanismos de neuroplasticidad ha sido un tema de investigación de largo alcance. Se sabe que las fases del sueño están involucradas de diferentes maneras en procesos de memoria en sus distintas modalidades. El sueño de ondas lentas está asociado con la memoria episódica, mientras que el sueño REM está asociado con la memoria procedimental y emocional (Sousouri y Huber, 2019). La confirmación del importante papel del sueño para el estado cognitivo humano conduce a una comprensión de la

importancia clínica de esta condición. Los trastornos del sueño, en particular el insomnio, van acompañados de un deterioro de la memoria y de las funciones ejecutivas (Klinzing y Diekelmann, 2019). Está demostrado que en las personas que no duermen lo suficiente, su rendimiento cognitivo se deteriora más rápido que en las personas que duermen bien (Bellesi, 2019). La base fisiopatológica de esto es el fenómeno de acelerar la eliminación de productos metabólicos del cerebro, en particular la proteína beta-amiloide, durante el sueño (Shokri-Kojori *et al.*, 2018).

La proteína beta-amiloide es miembro de un grupo de moléculas endógenas que son responsables de regular la transmisión sináptica adecuada en el hipocampo (Abramov *et al.*, 2009). El sueño es un componente esencial de la existencia animal que se ha mantenido prácticamente sin cambios a lo largo de la evolución. Diversas investigaciones han demostrado la función que desempeña el sueño en el proceso de plasticidad sináptica (Wang, Grone, Colas, Appelbaum y Mourrain, 2011).

La reproducción de la memoria y la homeostasis de la sinapsis muestran que uno de los papeles más importantes que juega el sueño es la consolidación y optimización de los circuitos sinápticos. Esto permite la retención de importantes rastros de memoria (Wang *et al.*, 2011).

## LA CREACIÓN ARTÍSTICA

El arte es sin duda un elemento que puede ayudar, de diversas maneras, a la plasticidad sináptica. Se dice que Miguel Ángel había afirmado que se pinta con el cerebro y no con las manos (Segura, 2013). Se han documentado casos de daño cerebral consistente que ha podido ser revertido gracias a la práctica del dibujo y la pintura (Ione, 2016). Del mismo modo, la práctica constante en la ejecución de algún instrumento musical tiende a profundizar la comunicación interneuronal y favorece la cognición (Münste, Altenmüller y Jäncke, 2002; Rodrigues, Loureiro y Caramelli, 2010)

Gracias a la neurociencia moderna, se sabe que la danza, la música, el teatro y el uso creativo de diversos materiales contribuyen al desarrollo del cerebro como terapia (Rojas y Galván, 2020). Las medidas que hoy son una práctica clínica muchos las consideran simples distracciones o pasatiempos, pero se sabe por la investigación neurobiológica básica que el cerebro cambia constantemente con la práctica artística y se genera neuroplasticidad positiva, incluso en enfermedades como el autismo (Viganò y Magnotti, 2021).

## APRENDER OTRO IDIOMA

Los efectos del aprendizaje de una segunda lengua en la neuroplasticidad del cerebro producen alteraciones anatómicas y patrones funcionales que se generan al aprender y utilizar una lengua diferente a la materna (Li y Grant, 2016).

La neuroplasticidad estructural del cerebro cambia como consecuencia del bilingüismo. Según investigaciones, los cambios anatómicos en respuesta a esta experiencia se han descubierto fusionando los datos de las imágenes estructurales con los conocimientos actuales sobre la plasticidad cerebral del lenguaje y otras capacidades cognitivas (Li y Grant, 2016; Stein, Winkler, Kaiser y Dierks, 2014; Uddin, Supekar, Ryali y Menon, 2011).

La densidad de la materia gris y la integridad de la materia blanca, ambas afectadas por los cambios cerebrales inducidos por el manejo de la segunda lengua, se han encontrado desde niños a adultos mayores. Estos cambios pueden producirse con el aprendizaje y la formación lingüística, incluso en el mediano plazo, y no dependen de la edad, la etapa de adquisición, el nivel de dominio o el nivel de rendimiento (Li y Grant, 2016).

El modo en que el cerebro responde a la adquisición de una segunda lengua y cómo ciertas áreas corticales son estimuladas es un tema que se sigue investigando, pero del que se tienen evidencias concluyentes sobre la plasticidad cerebral inherente (Stein *et al.*, 2014; Uddin *et al.*, 2011).

## DOMINAR UN VIDEOJUEGO

Se ha comprobado que la práctica de acciones repetidas y funcionalmente significativas mientras se juega a los videojuegos aumenta la neuroplasticidad. Las recompensas, los objetivos, la dificultad y la noción de inmersión virtual son temas comunes en el diseño de videojuegos. Los diseñadores y los terapeutas trabajan juntos para desarrollar un modelo de juegos que se anticipe a la mejora de las capacidades cognitivas y motoras (Barrett, Swain, Gatzidis y Mecheraoui, 2016; Monteiro-Junior, Vagheti, Nascimento, Laks y Deslandes, 2016). Si bien esto se sigue debatiendo, ha sido corroborado, especialmente en juegos inmersivos en tercera dimensión (Clemenson y Stark, 2015).

Debido al uso simultáneo de las capacidades cognitivas y físicas por parte de una interfaz humano-videojuego, los videojuegos 3D inmersivos se denominan de tarea dual. Se ha demostrado que esos videojuegos, e incluso algunos que no son tridimensionales, también mejoran las capacidades cognitivas (Kühn, Gleich, Lorenz, Lindenberger y Gallinat, 2014), pero aún no se

han establecido los mecanismos subyacentes de estos cambios. Sin embargo, se han demostrado los mecanismos biológicos conocidos del ejercicio físico con respecto a la adaptación muscular y han establecido una relación con una hipótesis neurobiológica sobre los efectos cognitivos de los videojuegos (Monteiro-Junior *et al.*, 2016).

La neuroplasticidad y la mejora del rendimiento de la memoria mediata pueden lograrse sumergiendo a los jugadores en un entorno más estimulante, lo que se conoce como enriquecimiento ambiental en los videojuegos. Según algunos investigadores (Clemenson y Stark, 2015), los videojuegos podrían servir al enriquecimiento de la experiencia ambiental. La cognición relacionada con el hipocampo, se observó que mejora significativamente cuando los jugadores se entrenan constantemente, según una serie de mediciones de comportamiento en que cada vez se les exige más a los jugadores sin llegar a frustrarlos. Por lo tanto, se considera que, de acuerdo con estos resultados, los videojuegos modernos pueden estimular el cerebro humano (Clemenson y Stark, 2015; Barrett *et al.*, 2016; Kühn *et al.*, 2014).

### PRACTICAR JUEGOS MENTALES

El entrenamiento mental también acarrea grandes beneficios al cerebro. Resolver crucigramas, por ejemplo, tiene varios beneficios: el lenguaje (Zerilli, 2021), el pensamiento de problemas, la inventiva y la coordinación mano-ojo son algunas de las habilidades que se necesitan en estos juegos clásicos. Utilizar la capacidad de representación visual para ver cómo se conectan las palabras, aunque para la mayoría de la gente no es un reto difícil colocar las letras en las casillas, reporta beneficios al cerebro. Los crucigramas necesitan que se recupere información, tal vez olvidada. Los recuerdos a los que no se puede acceder con frecuencia suelen quedar fuera de “la base de datos”. No es que se hayan perdido en la memoria, sino que simplemente se ha olvidado cómo acceder a ellos (Brewin, 2018).

Teniendo en cuenta las pistas, los crucigramas obligan a recorrer una serie de caminos inesperados. Es muy probable que se recuerden términos y frases que encajan con las pistas del crucigrama, y esto podría llevarle a recordar viejos recuerdos sobre estos temas. Como resultado, estos recuerdos perdurarán y se fortalecerá la plasticidad (D'Antonio, Simon-Pearson, Goldberg, Sneed, Rushia, Kerner y Devanand, 2019).

Los tratamientos de mejora cognitiva han sido cada vez más populares en los últimos años, y tienen el potencial de ayudar, tanto a poblaciones clínicas

como no clínicas. El papel del entrenamiento cognitivo digital o físico es cada vez más importante y exige una mayor atención científica a medida que avanza la tecnología y aumenta el número de personas cognitivamente sanas que buscan medios para mejorar o preservar el funcionamiento neural (Jak, Seelye y Jurick, 2013)

En varias investigaciones se ha demostrado que las metodologías de entrenamiento del cerebro producen ganancias considerables en las tareas cognitivas realizadas. Durante largos periodos de tiempo, los programas de entrenamiento cognitivo monitoreados han producido resultados favorables (Jak *et al.*, 2013).

El ajedrez es otro ejemplo de una actividad que requiere conocimientos y suele exigir el desarrollo de la experiencia, así como una concentración focalizada en el campo correspondiente de la que se tienen algunas evidencias de neuroplasticidad. A pesar de la amplia investigación conductual que se ha realizado sobre el tema (Chaudhury, 2018), las bases neurológicas de la habilidad y la competencia ajedrecística se conocen, pero aún no del todo. Algunos estudios que han utilizado la neuroimagen funcional han indicado que los ajedrecistas experimentados emplean diversas herramientas psicológicas y activan diferentes regiones cerebrales cuando realizan acciones relevantes para el juego. Sobre la base de esta literatura funcional, se han descubierto cambios morfológicos positivos en una red que incluye regiones parietales y frontales (de la Maza, 2002; Hänggi, Brütsch, Siegel y Jäncke, 2014).

### APRENDER A TOCAR UN INSTRUMENTO Y ESCUCHAR MÚSICA

En los últimos años ha aumentado el número de investigaciones que estudian cómo la música puede afectar a los procesos mentales de los seres humanos. Múltiples estudios han demostrado que el entrenamiento musical a largo plazo conduce al desarrollo de procesos neuroplásticos cerebrales estructurales y funcionales (Münste *et al.*, 2002). Estos procesos, a su vez, pueden generar diferencias cognitivas entre los músicos y las personas que no tocan un instrumento. Debido al entrenamiento único e intenso al que se someten los músicos, tienen el potencial de servir como sujetos modelo para la investigación sobre cómo cambia el cerebro (Stengemöller, 2014).

Las investigaciones demuestran los efectos beneficiosos del entrenamiento musical en la capacidad cognitiva en general. Estos hallazgos, que representan cambios plásticos en el cerebro de los músicos, han sido estudiados ampliamente (Rodrigues *et al.*, 2010).

## VIAJAR A NUEVOS LUGARES

Diversos estudios (Berglund, Lytsy y Westerling, 2016; Rhee, Kim, Lee, Kim y Lee, 2013) coinciden en que cuando el cerebro trabaja en un entorno monótono y conocido, el encéfalo entra en una fase de rutina y deja de registrar y asimilar información, se convierte en un órgano laxo, cuyo único objetivo es apoyar las necesidades fisiológicas básicas del cuerpo y las mínimas exigencias intelectuales. En el caso contrario, en lugar de la degradación, se puede alcanzar un desarrollo de la capacidad del cerebro para ajustar su trabajo mediante la creación de nuevas conexiones neuronales en contacto con el entorno. La diversidad externa y la variabilidad de los encuentros con nuevos escenarios son factores clave (Berglund *et al.*, 2016).

Durante un viaje, la novedad del ambiente y todo lo que ello conlleva, como sabores, sensaciones, sonidos y olores, obligan al cerebro a realizar nuevas sinapsis, a abrir activamente pequeños huecos que conectan las neuronas (Rhee *et al.*, 2013). Las conexiones sinápticas que fijan las experiencias exitosas y fallidas se forman sobre la base de una experiencia novedosa, ya sea mediante la repetición y el aprendizaje gradual o mediante una nueva experiencia.

## CONCLUSIONES PARCIALES

El cerebro es el órgano que tiene la capacidad de responder y adaptarse a las demandas del entorno, o dicho directamente, de aprender y *re-aprender*. La neurociencia descubre la influencia de la composición genética del cerebro en el aprendizaje. Gracias a ello, como se ha visto, se puede identificar marcadores críticos para los resultados educativos, y también proporcionar una base científica sobre la que evaluar la eficacia de diversas estrategias de enseñanza-aprendizaje.

El cerebro que aprende está influenciado en igual medida por la naturaleza y la instrucción. Los factores ambientales influyen en la forma en que un individuo responde a las experiencias educativas. Las respuestas individuales pueden variar sustancialmente.

La educación parece ser el potenciador cognitivo que tiene un nivel de rendimiento más extendido y constante. La educación da acceso a una serie de técnicas de pensamiento abstracto, como las matemáticas y la lógica, que pueden utilizarse para resolver una gran variedad de problemas y pueden promover la flexibilidad mental. Por ejemplo, la alfabetización y la aritmética

tienen un efecto transformador en el cerebro humano, pero también hacen posible que las personas hagan cosas que, sin estos instrumentos culturales, serían imposibles (Bathelt, Gathercole y Astle, 2017).

A pesar del dicho norteamericano “Old dogs can not learn new tricks” [perro viejo no aprende nuevos trucos], nunca se es demasiado viejo para aprender cosas nuevas y estos procesos de aprendizaje producen cambios estructurales y funcionales en el cerebro hasta una edad avanzada. La plasticidad neurológica define los cambios en la estructura y/o la función del cerebro en respuesta a cambios en el comportamiento, el entorno y los procesos neuronales. Estos cambios pueden producirse de forma adaptativa (por ejemplo, a través del aprendizaje) o de forma "recuperativa" (por ejemplo, tras un accidente cerebrovascular) y tienen lugar a lo largo de toda la vida.

Muchos científicos solían creer que el cerebro no cambiaba después de la infancia, que estaba programado y fijado cuando se llegaba a la edad adulta, pero los recientes avances de la última década nos dicen que esto no es así; el cerebro puede cambiar y, de hecho lo hace a lo largo de toda la vida, y los neurocientíficos lo han analizado. Si pensamos en el cerebro como una red eléctrica conectada de forma dinámica, hay miles de millones de vías o caminos que se iluminan cada vez que cada vez que se piensa, se dice o se hace algo. Algunos de estos caminos están muy transitados, y son las formas establecidas de pensar, sentir y hacer las que determinan las conexiones sinápticas de largo alcance.

Hasta aquí se ha abordado la resonancia de los procesos de plasticidad neuronal como factores determinantes en el proceso de enseñanza y de aprendizaje; en el siguiente apartado se analiza los fundamentos teóricos y prácticos en que debe descansar una epistemología desde la neuroeducación.



# III. NEUROEDUCACIÓN: UN CAMPO DE TRABAJO INTERDISCIPLINARIO

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este apartado es identificar los fundamentos conceptuales y los objetivos principales de la neuroeducación con una visión de la neurociencia cognitiva, que considere cada etapa involucrada en el proceso de enseñanza-aprendizaje desde una panorámica multidisciplinar. Se argumenta que la neuroeducación es un campo de pensamiento complejo, que requiere del diálogo, pero sobre todo del consenso entre las diversas disciplinas involucradas para lograr avances significativos, objetivos concretos y aplicaciones innovadoras para una educación basada en evidencias.

## EDUCACIÓN

### ¿APRENDIZAJE DE ADENTRO HACIA AFUERA O VICEVERSA?

La palabra educación viene de la palabra latina *educatio* que es una derivación de la palabra *educare* y, a su vez, proviene de *educere* que significa extraer, guiar, entrenar (León, 2007). Por un lado, educar puede interpretarse como llevar a alguien de la mano hacia una meta específica, por otro lado, aún queda la idea platónica de que se aprende por reminiscencia, esto es, que el alma tiene *impresa* ideas *a priori*, innatas, y que con la ayuda del maestro, esos conocimientos que han sido *olvidados*, serán *actualizados* a través de la memoria. De ahí que Sócrates, maestro de Platón, utilizara en *El Menón* la mayéutica como técnica de enseñanza a través de hacer las preguntas pertinentes a sus alumnos, de modo que pudieran *dar a luz* a aquellos conocimientos y verdades que permanecían *dormidas* u olvidadas en el interior de su alma (Platón, 2007).

«Así, pues, para el alma, siendo inmortal, renaciendo a la vida muchas veces, y habiendo visto todo lo que pasa, tanto en esta vida como en la otra, no hay nada que ella no haya aprendido. Por esta razón, no es extraño que, respecto a la virtud y a todo lo demás, esté en estado de recordar lo que ha sabido. Porque, como todo se liga en la naturaleza y el alma todo lo ha aprendido, puede,

recordando una sola cosa, a lo cual los hombres llaman aprender, encontrar en sí misma todo lo demás, con tal que tenga valor y que no se canse en sus indagaciones. En efecto, todo lo que se llama buscar y aprender no es otra cosa que recordar» (Platón, 2007).

Esta creencia, por demás idealista, parte del dualismo antropológico que divide al ser humano en sustancias: una material y la otra inmaterial. O sea, en cuerpo y alma, siendo la segunda más *real* y significativa que la primera, toda vez que el alma racional no solamente es capaz de sobrevivir a la muerte, sino que se cree es la portadora del conocimiento *verdadero* (Platón, 2007).

Por otro lado, educación también significa alimentar intelectualmente al alumno, ya sea a través de conocimientos específicos o de entrenamiento para el desarrollo de habilidades y competencias. El docente debe *sembrar la impronta* del conocimiento para que, con el tiempo, pueda dar sus frutos. Esta concepción (Spellman, 1997), al contrario de las ideas de Platón, parte de que el ser humano es *tabula rasa*, y que todo conocimiento es adquirido por la experiencia.

La educación tendría una definición endógena, con una fuente interna que se exterioriza; y una definición exógena, que va de afuera hacia adentro: una considera que la educación está *dada*, que se deben despertar y retrotraer conocimientos y habilidades que el ser humano ya tiene en potencia, como una posibilidad, y que la labor del maestro es, por tanto, que el alumno desarrolle aquellas destrezas que ya posee. La otra, que el ser humano nace sin conocimiento alguno y que todo conocimiento proviene de los sentidos y de la experiencia.

Independientemente del enfoque, se puede definir educación como el proceso cognoscente de adquisición de conocimientos, tanto teóricos como prácticos para enfrentar los diversos escenarios y retos que se le presentan al ser humano a lo largo de su vida (León, 2007). También se extrapola al proceso adaptativo y de cambio que en la medida en que la persona cuenta con mayores herramientas, conocimientos, habilidades y destrezas puede sortear de mejor manera el entorno natural y social en el que tiene que abrirse camino para alcanzar sus propias metas (Durkheim, 2020; Richart, 2019).

La realización de los objetivos de vida, que algunos llaman autorrealización (Descalzi, 1996), si bien es un camino personal e intransferible depende de las capacidades adaptativas y de autodefinición que cada persona, aplica para el manejo de su entorno. La autodeterminación significa que el sujeto es capaz de construir un plan de acción y seguirlo (Bernal-Guerrero, 2005).

Educación es, por tanto, un término polisémico, que se define a partir del enfoque *de adentro hacia afuera* o *de afuera hacia dentro*, pero más relevante es el sentido formativo, de fortalecimiento y de construcción de estructuras y esquemas cognitivo para la solución de problemas específicos, y toma asertiva de decisiones atinentes a cada circunstancia en escenarios cambiantes (Morandín-Ahuerma, 2017).

El término neuroeducación, desde esta perspectiva, es un proceso adaptativo; ya sea como fuente, como destino, o como un fenómeno emergente del cerebro. Por ello, toda educación es, podría decirse, neuroeducación.

Ya sea que se despierte una habilidad innata o que se desarrolle una competencia adquirida, es a través del cerebro que se codifica y decodifica la información para su aplicación. Los receptores de sensaciones exteroceptivas se encuentran en la superficie del cuerpo y reciben impulsos del mundo exterior, mientras que los receptores de sensaciones interoceptivas se encuentran en los órganos interiores y comunican su función al cerebro (Anderson, Hecker, Krigolson y Jamniczky, 2018). Ambos procesos son administrados desde el sistema nervioso central, cuyo órgano principal es el neocórtex (Morandín-Ahuerma, 2021), por lo que, si se acepta que la educación es un proceso adaptativo, entonces por necesidad es una forma de neuroeducación.

### ¿NEUROEDUCACIÓN, NEURODIDÁCTICA O NEUROPEDAGOGÍA?

El conocimiento sobre el cerebro y su divulgación es un trabajo en constante crecimiento. Actualmente se celebran numerosos actos públicos para promover los logros de la neurociencia y la importancia de su investigación a través de eventos a nivel mundial: semanas y ferias del cerebro, *workshops*, conferencias, simposios, mesas redondas, visitas guiadas en nerolaboratorios, jornadas de puertas abiertas, nuevos programas académicos, exposiciones en museos y bibliotecas, hasta concursos, conciertos, representaciones teatrales y campañas en redes sociales: todo sobre el cerebro y sus atributos (Bauer, 2016).

La neuroeducación es un campo científico, basado en la investigación del cerebro y las regularidades visibles de su funcionamiento durante el aprendizaje, por lo que se ha convertido en una disciplina en la que intervienen diversos abordajes epistemológicos de estudio, como la neurociencia en general, la biología, la psicología, la ciencia cognitiva, la informática, la pedagogía, la filosofía de la mente y de la educación (Clark, 2015). La neuroeducación se refiere al conocimiento sobre el cerebro relacionado con el ámbito educativo; la

neurodidáctica, por su parte, es la aplicación de ese conocimiento en las aulas de clase (Ansari, De Smedt y Grabner, 2012).

La neurología, la neurobiología, la neurofisiología, la neurocirugía y la neuropsicología son también especialidades de estudio más avanzadas que entran en la neuroeducación. Su objeto son las características físicas y cognitivas, así como la regularidad de la activación de los procesos en el cerebro y el sistema nervioso involucrados en la educación (Galvagno y Elgier, 2018).

Como puede observarse, la neurodidáctica es un nombre que engloba una serie de metodologías prácticas destinadas a desarrollar conceptos pedagógicos basados en los hallazgos de la neurociencia y la investigación del cerebro. La neurodidáctica ha evolucionado hasta convertirse en una nueva disciplina científica sobre el cerebro y los patrones de su funcionamiento para encontrar los principios y métodos de enseñanza más eficaces (Cohen, 1995; Merchan, 2018).

El papel de la psicología, las neurociencias, la filosofía y la cultura son fundamentales en el desarrollo de una teoría educativa basada en los últimos hallazgos sobre el cerebro (Borst, Masson y Project Muse, 2017). El objetivo de la neurodidáctica es examinar la utilidad de aplicar los datos de la investigación neurocientífica a la práctica educativa, así como una interacción exitosa entre la neurociencia, la biología, la psicología, la ciencia cognitiva, la informática, la pedagogía, la filosofía de la mente y la filosofía de la educación, como ya se ha dicho (Goswami, 2008).

La neurodidáctica es un componente esencial de la neuropedagogía, que es una disciplina que recoge datos sobre la organización del cerebro humano procedentes de la neurología, la neurofisiología, la neuroanatomía y la neuropsicología, y cuyo objetivo es utilizar la información sobre las diferencias individuales en la organización cerebral de los procesos mentales superiores para resolver cuestiones en la práctica de la enseñanza de forma óptima e innovadora (Semprun, Villasmil, Garcia, Bracho y Duenas, 2020).

Los últimos datos descubiertos sobre la actividad y el desarrollo del cerebro, como la tecnología que registra la actividad cerebral mientras se resuelven problemas y se modela el comportamiento, han permitido a los educadores llevar las preocupaciones educativas a un nuevo grado de complejidad (Blau, 2020).

Una inquietud relacionada es poner la neurociencia al servicio de los objetivos educativos de forma práctica. El estudio de la neurociencia se ocupa principalmente de adquirir una comprensión básica del funcionamiento del

cerebro. Sin embargo, es igualmente importante que la investigación neurofisiológica se concentre en una de las principales preocupaciones educativas contemporáneas, por ejemplo, la adquisición de conceptos y la superación de las dificultades en el aprendizaje de diferentes materias (Ares, Bermudez y Chinchilla, 2016).

Existe un interés creciente en la neuroeducación en general, y se debe a los estudios sobre las capacidades del cerebro humano que se han descubierto en las últimas décadas (Coelho y Malheiro, 2021). Este enfoque puede llegar a ser un cambio de paradigma en la teoría del aprendizaje, desde el que se construye un nuevo diseño pedagógico gracias a la riqueza de conocimientos que aporta la neurociencia a la educación. Los aspectos sociales, científicos, educativos y axiológicos son condiciones previas para hacer investigación educativa desde la neurodidáctica (Bonda, 2012).

La evaluación de la literatura especializada revela la necesidad de combinar las técnicas educativas convencionales con los enfoques contemporáneos explorados en la neuroeducación (Bruer, 2016). Los conocimientos de las diversas disciplinas involucradas se reúnen en un campo epistemológico más amplio porque la neuroeducación tiene por objetivo crear entornos de aprendizaje más eficaces y de abordaje complejo, no por complicados o inaccesibles, sino por la profundidad de sus explicaciones (De Vos, 2016).

Los temas de estudio de la neurodidáctica, la psicología educativa y la práctica pedagógica requieren de un diálogo entre neurocientíficos, psicólogos y educadores sobre los temas específicos (Devonshire y Dommett, 2010). El uso de la neurociencia en la educación necesita no sólo un conocimiento más amplio de la arquitectura y la fisiología del cerebro, sino también una comprensión de la cadena de acontecimientos involucradas en los procesos cerebrales, pasando por la fenomenología del comportamiento y la actividad mental que están involucradas en el aprendizaje (Alvarado, 2019).

Es incorrecto afirmar que la aparición de la neurodidáctica es resultado directo de la intersección únicamente entre la neurociencia y la educación. Se trata de una gama más extensa de disciplinas, incluso enfoques dentro de las mismas disciplinas (Zhang, 2002). Lejos de simplificar las estructuras en las que se basa la educación, se busca compilar las distintas disciplinas del conocimiento que están implicadas en el fenómeno del aprendizaje (Zhang y leee, 2019).

La neuroeducación es una multidisciplina porque se compone, se relaciona y de alguna manera, depende de distintas áreas del conocimiento que,

en armonía, logran explicar —de forma convincente en muchos casos— cuáles son los mecanismos mediante los cuales el cerebro aprende (Elmer y Elmer, 2020). La psicología cognitiva es el vínculo entre la neurobiología y la neurociencia de la educación; y, por su parte, la filosofía de la educación tiene una estrecha relación con las explicaciones generales y, al mismo tiempo, más profundas sobre el fenómeno educativo (Duchesne, 2016).

### REALIDAD VIRTUAL Y REALIDAD ONTOLÓGICA EN LA EDUCACIÓN

La investigación educativa suele considerarse una disciplina aplicada. Los recientes descubrimientos sobre la actividad y el desarrollo del cerebro necesitan de la síntesis de enfoques transdisciplinarios e interdisciplinarios, aprovechando los recursos que se unen en el contexto académico (Theodoridou y Triarhou, 2009). La neurodidáctica en particular es el estudio que permite comprender mejor la mecánica neurofisiológica de la actividad mental, lo que a su vez ayuda a encontrar respuestas a dos retos de la educación: la asimilación de la información de aprendizaje y la actividad correspondiente a ese aprendizaje (Calatayud, 2018). La teoría y la práctica deben estar estrechamente relacionadas para que el aprendizaje sea significativo.

Más allá de la visión tradicional de la neurociencia en la educación como herramienta de investigación para identificar los mecanismos neurocognitivos que subyacen a las capacidades de aprender a leer y escribir o resolver problemas matemáticos, es evidente que puede aplicarse a otras materias paralelas, por ejemplo, la estructura del entorno educativo, el momento del aprendizaje, el papel del estrés, el sueño, el deporte, la nutrición y el contexto social en el aprendizaje para el desarrollo del cerebro (Leikin, 2018).

Los profesores se enfrentan a diario a una serie de retos psicológicos y pedagógicos que se producen en el entorno del aula física o virtual. A menudo es difícil distinguir lo que pertenece a problemas de la psicología de la educación y cuáles pertenecen a la didáctica, especialmente en los últimos dos años marcados por la pandemia de COVID-19 y el confinamiento (Bellini, Pengel, Potena, Segantini y Grp, 2021). Los educadores dependen de la neuroeducación en general y de la neurodidáctica en particular para utilizar los métodos más eficaces para instruir a sus alumnos. El desarrollo de nuevos enfoques de investigación educativa puede incluir el uso de metodologías neurofisiológicas que demuestren la eficacia de la tecnología y las comunicaciones híbridas (Erkut, 2020; Treve, 2021).

Dado que la educación debe llevarse a cabo no sólo en el modo presencial, deben considerarse modelos de la realidad virtual en la búsqueda de información, sin importar las fronteras; el uso de objetos y fenómenos de la realidad circundante duplicados en la virtualidad, así como la aplicación de las disposiciones teóricas en la práctica y las condiciones del entorno para vincular la educación con la vida diaria, con modelos digitales y que la práctica adquiera significado (Arsenal y Pinar-Pérez, 2021). Es fundamental entender cómo procesar, analizar y evaluar la información mientras se trata de vincular la virtualidad con la realidad ontológica (Doukakis y Alexopoulos, 2021).

La virtualización de la educación plantea varios problemas relacionados con la falta de desarrollo, tanto de acceso a las tecnologías como de habilidades sociales personales. La dependencia psicológica de un niño, un joven e incluso un adulto por su computadora, *tablet* o teléfono inteligente, así como el entorno de algunos juegos virtuales, pueden ser una fuente de confusión entre la *realidad* virtual y la ontológica (Arsenal y Pinar-Pérez, 2021). Por ejemplo, en el mundo virtual se experimenta sentimientos de felicidad y no se tiene complejo de inferioridad; en el mundo real, las cosas son distintas, menos cómodas y pueden resultar más difíciles de afrontar. Esto puede dar lugar a un deterioro del proceso de comunicación social, ya que no se utiliza la autopresentación y el componente emocional de la comunicación intersubjetiva presencial, que se empobrece como consecuencia de la falta de contacto directo (Jiménez, Vivanco, Castillo, Torres y Jiménez, 2021).

El anonimato y el menor riesgo psicológico asociados al proceso de comunicación virtual disminuyen el sentido de identidad y responsabilidad personal por las actividades en la red. La educación presencial, en cambio, es una exigencia objetiva de socialización bajo cánones compartidos (Ortega-Esquembre, 2019). Dado que la educación debe estar al servicio de la construcción de vínculos reales en la sociedad, es necesario rectificar los defectos que existen en la virtualidad. Aun cuando cada vez se utilizan más los distintos tipos de comunicación interactiva, en el aula, en redes sociales, foros específicos y grupos en los que los usuarios pueden hacer nuevos amigos, fortalecer sus propios puntos de vista e identificar los defectos de las posiciones de los demás, entre otras cosas (Satralkar, Cherian y Thomas, 2021).

Sin embargo, las capacidades intelectuales de limitación de la información son necesarias, como la selección y elección de aquello que se acepta como verdadero; la tipificación de las opciones de enseñanza y la normalización de un marco de referencia conceptual son especialmente importantes en las

situaciones actuales. El estado de desarrollo de los sistemas abiertos y la tecnología de la información hace posible acceder a mucha información que no se puede analizar y que, sin el cuidado de las fuentes, puede ser una desviación del conocimiento y pérdida de contacto con la objetividad (Panakakis, Tsivoula y Doukakis, 2021).

Se debe dar importancia a las cualidades del pensamiento que permiten establecer relaciones causa-efecto, fundamentar modelos de determinados fenómenos sociales, prever consecuencias y desarrollar nuevas ideas vinculando los espacios físicos y digitales. También debe plantearse el problema de la distinción virtualidad-realidad, que modela ambos mundos (Arsenal y Pinar-Pérez, 2021).

La vida real es más complicada que la virtual, tiene una mayor variedad de elementos y es imprevisible en algunos aspectos. En la vida virtual también se establece un vínculo con la realidad ontológica, por lo que las consecuencias que pueden tener ciertas acciones en el mundo virtual se reflejan en el material. Hoy en día se necesitan personas que sean capaces de afrontar los retos, tanto en el mundo virtual como en el ontológico (Satralkar, Cherian y Thomas, 2021).

Para ello se debe incluir el desarrollo de competencias digitales y socioprofesionales que permitan crear itinerarios de aprendizaje a la medida de las nuevas circunstancias, la instrucción en metacompetencias y características socioprofesionales para la vida, lo que significa saber alcanzar metas tanto en lo digital como en la vida desconectada (Choudhury y Wannyn, 2022).

## LA PSICOLOGÍA EN LA EDUCACIÓN

Se cree que la mecánica neurofisiológica de la actividad mental puede dar respuesta a los principales problemas de la educación. La adquisición de contenidos instructivos y la gestión de la actividad de aprendizaje puede ser dirigida desde la neurodidáctica con ayuda de la psicología cognitiva. Hay diversas aplicaciones de la neurociencia en la educación, además de estudiar los mecanismos neuronales que subyacen a la alfabetización y la aritmética, que han sido dos campos ampliamente documentados, pero existen lagunas, por ejemplo, de cómo el cerebro trabaja en la adquisición de nueva información, su análisis y dónde *radican* los recuerdos (Ballesta-Claver, Blanco y Perez, 2021).

La comprensión de los mecanismos de aprendizaje de nuevos conceptos incluye la creencia demostrada de que el cerebro recuerda las palabras a través de múltiples experiencias sensoriales y motoras apoyándose en la riqueza de estímulos que acompañan al concepto que se aprende y que influye en la

capacidad de recordarlo (Anderson, 2019). Los actos relacionados con una noción específica y realizados por una persona al aprenderlo, por tanto, contribuyen a la retención en la memoria.

Otro punto de estudio es el análisis de los contextos, las circunstancias y las experiencias que estimulan las regiones asociativas del cerebro, lo que, a su vez, mejora la absorción de nueva información en la memoria (Mittal, 2021). En este campo, se aborda la cuestión de cómo se produce el aprendizaje a partir de procesos cerebrales específicos, por ejemplo, examinando el impacto de las funciones cognitivas en la comprensión de nuevos términos y conceptos.

### EL CEREBRO Y LO MENTAL

Se requiere definir algunos principios de la neuroeducación. En primer lugar, asumir que no se puede comprender *lo mental*, a menos que se acepte que este término se refiere al resultado de una amplia gama de procesos emergentes que están implicados, como resultado final de la actividad cerebral. No reconocer esta conexión da lugar al dualismo mente-cerebro y a la falta de claridad de las tesis que sostienen que los elementos biológicos dominantes están separados del proceso conjunto. Esto es, que lo mental y lo biológico no están imbricados (Valtonen, Ahn y Cimpian, 2021).

La psicología cognitiva, por su parte, se encuentra a la mitad de ambas posiciones, en un campo de estudio compartido con la neurociencia, debido al estudio de cuestiones relacionadas con ansiedad, estrés, cognición, creatividad y otros aspectos del comportamiento humano, así como con la educación, que aborda los problemas de motivación, rendimiento, dificultades de aprendizaje, interacción en grupo, por mencionar algunos (Nicolete, Herpich, de Oliveira, Tarouco y da Silva, 2021). La psicología es el estudio de los procesos, resultados de la actividad cerebral que dan lugar a un aprendizaje que puede ser exitoso o no, a un comportamiento adaptativo o desadaptativo y a una comunicación eficaz o ineficaz, tanto dentro como fuera del aula, remota o presencialmente (Fariadi, Abu Bakar, Khilmiyah y Rahmanto, 2022).

Los principios de la psicología de la educación y la psicología cognitiva son los responsables de que la educación y la neurociencia se unan. Es posible que el puente más fuerte entre la neurociencia y la educación se construya a partir del desarrollo de una psicología cognitiva más cercana a la evidencia científica y menos especulativa (Satralkar *et al.*, 2021). A los psicólogos les resultará más sencillo comprender los conceptos, tanto de la neurociencia como

de la educación cuando tengan una formación más amplia en neurociencias (Shyman, 2017).

En la ciencia psicológica moderna, la psicología cognitiva se entiende como una psicología centrada en el estudio de los procesos cognitivos de humanos y de animales; explora y estudia procesos como la atención, la memoria, la imaginación, la percepción, el habla, el pensamiento lógico, los procesos de resolución de problemas, la inteligencia humana y artificial. Es decir, todo lo relacionado con la adquisición, estructuración, uso y reproducción de la información, de ahí su importancia para la educación (Cusme y Montes, 2021).

La formación de un docente que trabaja estos campos permite conocer y comprender los elementos funcionales del desarrollo del cerebro, así como los procesos que contribuyen a las funciones cognitivas involucradas en el aprendizaje (Cusme y Montes, 2021). Por su parte, el vocabulario utilizado, tanto por neurocientíficos como por los psicólogos debe ser comprensible para los docentes, tales como motivación, temperamento, capacidad, carácter, inteligencia emocional, inteligencia social, desarrollo mental, memoria, atención, estrategia cognitiva y neuroplasticidad. Estos temas dominan la literatura y los fundamentos que las instituciones y las prácticas educativas hoy requieren (Satralkar *et al.*, 2021).

### INTELIGENCIA EMOCIONAL Y SOCIAL

En los últimos veinte años se ha producido un aumento del número de investigaciones que han utilizado la cartografía cerebral para investigar las redes neuronales que intervienen en el comportamiento social (Cusme y Montes, 2021). Los primeros trabajos (Greene, Sommerville, Nystrom, Darley y Cohen, 2001) sirvieron de base para la creación de las neurociencias que contemplan los aspectos de lo emocional y de lo social que participan en actividades de grupo. La conducta social no está controlada por un único dominio, sino por un complejo de procesos sensoriales, motores, cognitivos y emocionales que se generan y comprometen conjuntamente a lo largo del desarrollo intelectual para impulsar la conducta social y emocional (Mittal, 2021). Las expresiones faciales, la mirada, la dilatación de las pupilas y otras reacciones autonómicas son ejemplos de indicadores de que las personas participan en un proceso continuo de comunicación bidireccional con otras personas, a menudo inconscientemente (Verdugo, 2017).

La relación entre las emociones y los procesos cognitivos es un aspecto importante en la neuroeducación, y la capacidad de identificar las emociones

contribuye al proceso de aprendizaje porque puede ser una clave para el éxito de la educación (de Tienda Palop, 2019). Además de promover la producción de emociones positivas como la alegría, la motivación y la confianza, los sistemas de recompensa contribuyen a la mejora de los procesos cognitivos e incluso empáticos (Jayasankara Reddy, Haritsa y Rafiq, 2021; Verdugo, 2017).

La neuropsicología puede ayudar a explicar no sólo los talentos intelectuales, sino también una amplia gama de sentimientos y emociones positivas que se producen a lo largo del trabajo cognitivo y que se ven influidas por un entorno cooperativo (Jayasankara Reddy *et al.*, 2021). La curiosidad, la sorpresa, la confianza en la veracidad de ciertas afirmaciones, el placer por la solución de un problema, la respuesta correcta, la frase adecuada, obtener evidencias y, en ocasiones, superar una decepción, las dudas y la ansiedad manejable, pueden fortalecer el potencial intelectual y la puesta en práctica de algunos principios de la neuroeducación como la resiliencia (Rodgers y Hales, 2021).

Al utilizar una comunicación asertiva se contribuye al desarrollo del intelecto social, lo que incluye la comprensión, previsión e interpretación adecuadas del comportamiento de las personas y actuar de acuerdo con una situación específica y moverse en un entorno propicio para el aprendizaje significativo (Rodgers y Hales, 2021).

Las emociones desempeñan un papel crucial en el proceso de aprendizaje. La neurodidáctica, a su vez, facilita tanto el aprendizaje lúdico como el emocional, y proporciona una experiencia satisfactoria que mejora la calidad de la información presentada, garantizando un equilibrio armonioso entre lo racional y lo emocional en el proceso de la cognición (de Tienda, 2019).

La neuroeducación utiliza los principios didácticos, las formas, los métodos, las técnicas y las tecnologías que ya se han desarrollado en la pedagogía clásica. Destaca la importancia de tener en cuenta los factores internos y externos en el aprendizaje. La creación del éxito del conocimiento significativo es algo que aparentemente se construye. Este hallazgo es importante en la educación porque proporciona un marco para entender la interacción de apoyo en el aprendizaje. La sinapsis, palabra del griego *synapsis* que significa toque o conexión, como se ha visto aquí, desempeña una función específica en la formación de redes neuronales durante el aprendizaje. Los cambios biológicos en el ser humano desencadenan la activación o ralentización de los impulsos, lo que repercute en el procesamiento de la información y el aprendizaje (Borst *et al.*, 2017).

## FUNCIONES EJECUTIVAS

Las llamadas funciones ejecutivas se refieren a los procesos cognitivos que dirigen, gobiernan y controlan otros procesos cognoscentes. Durante mucho tiempo en neuropsicología la función de los lóbulos frontales del cerebro se asoció con el control ejecutivo (Chung, Weyandt y Swentosky, 2014). La necesidad de un mecanismo para controlar el desempeño de una actividad surge en situaciones no mecánicas que requieren la intervención de sistemas de control. Por ejemplo, elegir una determinada acción entre una variedad de posibles respuestas, suprimir una acción inapropiada, mantener una acción planeada y su resultado esperado en la memoria de trabajo. Esto es, tomar control de *sí mismo* (Weyandt *et al.*, 2014).

El fenómeno de control de las funciones ejecutivas permite intervenir y supervisar las acciones de manera voluntaria y tiene relación con *hábitos* de aprendizaje, capacidad de organizar el propio tiempo y actividades de forma consciente (Chung *et al.*, 2014).

Por su parte, las habilidades de la función ejecutiva son las habilidades de control de la atención que le permiten a los alumnos mantener el enfoque, recordar metas e información, abstenerse de reaccionar de inmediato, resistir la distracción, tolerar la frustración, considerar las consecuencias de sus comportamientos, reflexionar sobre experiencias pasadas y planificar el futuro. A medida que avanza la investigación, los científicos son cada vez más conscientes de la relevancia de estas habilidades para el aprendizaje en entornos escolares (Isquith, Roth y Gioia, 2014). Los contenidos están en sus teléfonos inteligentes, son las habilidades las que se deben enseñar en el aula.

La “prueba del bombón o malvavisco”, realizada en la década de los 70 por el psicólogo Walter Mischel (Mischel y Moore, 1980; Peake, 2017), es una de las representaciones más conocidas de la naturaleza de las funciones ejecutivas, por su relevancia para el desarrollo a largo plazo. La prueba consistía en llevar a niños de cuatro a seis años a una habitación vacía, colocarlos frente a un plato con algún tipo de golosina, generalmente un bombón o una galleta, y luego el psicólogo le decía al niño que necesitaba salir urgentemente de la habitación y que si quería podía comerse la golosina, pero que, si no lo hacía en su ausencia le daría ese y otro igual, esto es, dos bombones o galletas. En cambio, si se lo comía antes de que regresara, sólo se quedaría con ese (Sneddon, 2008). Algunos de los niños esperaban hasta que el investigador regresara antes de comer el bombón, mientras que otros lo comieron de inmediato. Algunos niños pueden obedecer una instrucción o una regla y adaptar su comportamiento a ella

mientras no tengan fuertes distracciones. Otros, obedecen a la imperiosa necesidad de comerse lo que tienen frente a ellos sobre la mesa (Mischel y Moore, 1980).

El seguimiento de los participantes continuó y, con el paso del tiempo, cuando estos niños crecieron y se convirtieron en jóvenes, fueron evaluados en función del cumplimiento de sus objetivos, adaptación, capacidad de socialización y habilidades interpersonales (Mischel y Moore, 1980). El resultado fue que aquellos niños que podían esperar a que se les permitiera comer el bombón se adaptaron mejor a su entorno, tuvieron mejor aprovechamiento escolar, mejores carreras profesionales con mayores ingresos, menos problemas de salud y menos hábitos dañinos, en comparación con los niños que no se autorregularon durante el experimento (Peake, 2017).

También se requiere control ejecutivo para optimizar el comportamiento. La decisión a favor de una determinada acción se lleva a cabo teniendo en cuenta el resultado esperado (Kelley, Finley y Schmeichel, 2019). La discrepancia entre el resultado previsto y el real de la acción se utiliza para optimizar y corregir el comportamiento en el siguiente escenario. Entonces, si la recompensa esperada no se sigue, el error de expectativa resultante provoca un cambio en el patrón de comportamiento formado hacia el futuro (Deros, Grant, Kraft, Nagel y Hahn, 2022).

En consecuencia, la conducta de una persona en la infancia y su capacidad para controlar sus impulsos tendrá repercusiones en su juventud y, al parecer, puede tener valor predictivo para sus logros en la vida adulta (Kelley *et al.*, 2019). El estudio de las funciones ejecutivas ha estado motivado principalmente por el deseo de identificar los elementos que influyen a largo plazo en el comportamiento de las personas (Neta, Kelley y Whalen, 2013).

Las funciones ejecutivas son actividades mentales que se utilizan para relacionar el individuo con su entorno, trabajar, crear, prevalecer unas actividades sobre otras, controlar el tiempo e incluso motivarse (Chung *et al.*, 2014). También influyen en la inhibición de responder de manera automática a los impulsos, gestionar sus emociones, controlar la ira, favorecen la autorregulación y las habilidades de comunicación, entre otras (Ortíz, 2015).

Así las funciones ejecutivas se utilizan para establecer objetivos, planificar, establecer prioridades, recordar cosas, gestionar el tiempo, posesiones y completar tareas. Algunos niños tienen problemas de función ejecutiva y como resultado tienen, por ejemplo, dificultades para cumplir y mantener el ritmo de sus tareas (Weyandt *et al.*, 2014).

Las funciones ejecutivas son el apoyo operativo que dicta cómo se alcanzan metas y qué se debe hacer para conseguirlas. Las metas se fijan de acuerdo con la personalidad, pero el sistema de control ejecutivo puede modificarse prestando atención a los procesos automáticos, controlando el procesamiento de la información, considerando diferentes perspectivas y comparando la nueva información con los conocimientos previos, lo cual indica que los componentes de las funciones ejecutivas, como la memoria de trabajo, están implicados en el resultado. Cuando se trata de corregir un pensamiento ya existente basado en un nuevo conocimiento y que implica la acción, es necesario tener establecidas las habilidades adecuadas (Ares *et al.*, 2016).

Las interacciones de los sistemas cerebrales de las funciones ejecutivas se relacionan con los procesos de aprendizaje, memoria, atención, percepción y estados de recompensa y motivación, lo que produce la adquisición y comprensión de nuevos conocimientos y habilidades (Ballesta-Claver *et al.*, 2021).

En cambio, algunos problemas de las funciones ejecutivas se asocian con frecuencia al trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) (Abrahão, dos Santos Elias y Silva, 2022). Algunos síntomas de problemas con las funciones ejecutivas pueden incluir, por ejemplo, el perder u olvidar cosas importantes con regularidad; la falta de capacidad para mantener en orden una habitación o lugar de trabajo; conservar un puesto laboral e incluso cosas que parecen fáciles, como mantener un cajón o la ropa ordenada (Ares *et al.*, 2016).

Algunos problemas con la gestión del tiempo también están asociados a las funciones ejecutivas y pueden verse reflejados, por ejemplo, en tener problemas para llegar a tiempo a un lugar debido a la desorganización o la mala planificación o presentar dificultad para pasar de una tarea a otra de manera oportuna (Abrahão *et al.*, 2022). En la escuela este problema se hace presente en el rendimiento de algunos alumnos, la dificultad que tienen para memorizar hechos, captar información importante, organizar pensamientos por escrito, hacer mapas conceptuales, resolver problemas en varios pasos, completar y entregar sus tareas (Parra-Luzuriaga, Robles-Bykbaev, Robles-Bykbaev y León-Gómez, 2021).

Los alumnos aplican mayormente el pensamiento racional en lugar del pensamiento creativo en situaciones específicas, por lo que puede ser necesario modificar el currículo para desarrollar ambos aspectos. La evaluación de la capacidad intelectual debe realizarse en el contexto de la interrelación del individuo con otros elementos de su entorno y no solamente la llamada

inteligencia matemática o la comprensión de textos. Es necesario también examinar los numerosos indicadores de la actividad de la personalidad que reflejan la profundidad y flexibilidad de las capacidades intelectuales de los educandos, como las distintas manifestaciones de la inteligencia, que como se ha planteado, son una. La evaluación de la capacidad cognitiva de una persona para desarrollar una trayectoria de aprendizaje eficiente debe ser exhaustiva e incluir diversos aspectos y dimensiones (Assaf, 2018).

### ENTORNOS EDUCATIVOS FAVORABLES

Los estímulos externos pueden traducirse en acciones tan sencillas por parte del educador, como la valoración específica de la individualidad de los sujetos, desde saber el nombre de los alumnos hasta celebrar junto con ellos, sus logros en el aula, por pequeños que parezcan. No se está hablando de aprendizajes diferenciados ni “estilos de aprendizaje”.

Diversos estudios (Ansari *et al.*, 2012; Battro, Fischer y Léna, 2008) apuntan a que el aprendizaje en un entorno favorable genera un estado de atención elevado, mientras que un estado de estrés experimenta ansiedad y baja productividad. Así, un nivel moderado de excitación ayuda a que las neuronas estimulen la actividad de otras neuronas y participen en la formación de nuevas conexiones y en la reorganización del córtex mediante la producción de neurotransmisores.

La presencia de estímulos positivos durante el aprendizaje de cualquier acción tiene un impacto significativo en el dinamismo de la formación de la especialización del sistema neuronal, la modificación de la memoria previamente formada durante el proceso de nuevo aprendizaje y la relación entre la valencia de las emociones y la transferencia de conocimientos, habilidades y destrezas (Ballesta-Claver *et al.*, 2021).

La producción de dopamina, serotonina, norepinefrina y endorfinas mejora la calidad de las tareas de aprendizaje, no sólo en la escuela sino en todos los ámbitos de la vida (Compagno y Pedone, 2016). En las etapas de la educación debe mantenerse un equilibrio entre la presión y la recompensa, o sea, las condiciones ambientales propicias para la educación y la formación en el proceso de aprendizaje para maximizar resultados. Si se tienen en cuenta las características del cerebro del alumno, todas las influencias, positivas y negativas, pueden tener un impacto formativo y de desarrollo común (Borst *et al.*, 2017). Se trata de acciones concretas, como agradecer su participación,

invitarlos a que levanten la mano para compartir su opinión, corregirlos constructivamente y jamás reprimir ideas ni exhibir carencias.

## DISCUSIÓN

La necesidad de información objetiva sobre los procesos neuronales es evidente, si bien se están estableciendo métodos eficaces para incorporar los hallazgos de la investigación de laboratorio a la práctica educativa (Blau, 2020) es necesaria la creación de respuestas comunes a la neurociencia y a la educación, así como el desarrollo de un vocabulario compartido que transmita los hallazgos científicos sobre los problemas educativos más relevantes. Se puede argumentar que el tratamiento directo y la transferencia de los descubrimientos de la neurociencia tienen su propio lenguaje y singularidad, pero el rigor de los estudios experimentales dará una explicación clara del poder y el valor real para los procesos en el aula (Broomfield y D'Amato, 2018).

Una perspectiva educativa que considere la neuroeducación dentro de los procesos cognitivos y de aprendizaje podría ayudar a ampliar la visión pedagógica y didáctica del modo en que se enseña y aprende (Bonda, 2012). Algunos científicos de la educación (Elouafi, Lotfi y Talbi, 2021) han propuesto que una mayor formación en neurociencia para los educadores es un paso esencial para disipar lagunas que aún quedan para la comprensión de los procesos de la enseñanza y del aprendizaje. Ampliar los programas educativos incluyendo disciplinas neurocognitivas puede implicar que los estudiantes reciban una mejor instrucción interdisciplinar.

En este contexto, hay una serie de cuestiones en el ámbito de la neuroeducación, especialmente con la construcción y desarrollo de un pensamiento profesional de largo plazo, que deben abordarse. Para ello es fundamental la formación de equipos de investigación interdisciplinarios y la financiación de programas que permitan la colaboración entre neurocientíficos, psicólogos, filósofos e investigadores educativos cuyos proyectos aborden cuestiones relevantes para una nueva didáctica.

Las ideas fundamentales de la neurobiología, la psicología del desarrollo y la ciencia cognitiva, por ejemplo, están siendo ya utilizadas para construir modelos y herramientas de instrucción para la enseñanza de la lectura y la escritura (Jahitha Begum, Sathishkumar y Rahman, 2021).

Trabajar en detalle con ideas que sean del interés del educando es esencial en el proceso de aprendizaje, ya que las nuevas ideas asociativas que se forman ayudan al desarrollo del pensamiento conceptual, aumentando su

flexibilidad y originalidad (de Hortega y Garcia, 2012). La aplicación de los principios didácticos de la neuroeducación puede dar lugar a una potencialización intelectual y se produce una mayor capacidad de búsqueda a expensas de la inteligencia aplicada como resultado de los principios neurodidácticos (Jahitha Begum *et al.*, 2021).

Dado que las conexiones neuronales deben ser estimuladas varias veces antes de que se fortalezcan y sean más eficaces, la primera estrategia es activarlas repetidamente. Esto implica que, por ejemplo, para aprender las tablas aritméticas, hay que repetirlas con frecuencia para crear la ruta entre las neuronas (del Manzano, 2020), no hay otra manera. Los bebés no aprenden a hablar o a caminar en un sólo día, deben practicar mucho. La lectura recreativa o consulta de las tablas matemáticas no ayuda a conectar las neuronas, ni a memorizarlas. Hay que utilizar las relaciones entre ideas para recuperar los contenidos (Melvin, 2011).

Los estudiantes necesitan conocimientos teórico-prácticos para adquirir habilidades y competencias y mantener equilibrio en un sistema de enseñanza cohesionado. Cuando se expone a los alumnos a un conocimiento práctico en términos concretos dentro de un entorno específico, tienen mayor propensión al aprendizaje significativo que cuando no existe una relación con el *saber hacer* (Broomfield y D'Amato, 2018). Por su parte, el conocimiento teórico o abstracto, para una categoría de alumnos en circunstancias generalizadas, varía según su bagaje previo, sus capacidades cognitivas y la didáctica que se haya aplicado para *saber conocer* (Jahitha Begum *et al.*, 2021). Cada contexto necesita de su propia estrategia y aquí no es otra cosa que entender la realidad de los educandos. Por ejemplo, la enseñanza en una comunidad es distinta a la de una ciudad.

Algunos autores como Anand y Chellamani (2021) coinciden en que los docentes deben dirigir la atención de los estudiantes a la relación entre temas prácticos y estructuras teóricas o lógico-abstractas para que el análisis de una circunstancia concreta no se limite a una única explicación, ya sea aclaratoria o demostrativa y construya las preguntas fundamentales, como puede ser el *por qué* y no sólo el *cómo*.

El desarrollo de conocimientos teóricos y prácticos no sólo contribuye a la acumulación de datos, sino que genera habilidades para enfrentar el campo profesional y laboral en lo general (Broomfield y D'Amato, 2018). Se debe insistir en el enfoque de enseñanza basado en habilidades específicas para la vida.

## CONCLUSIONES PARCIALES

La neurociencia está encontrando aplicaciones en un campo socialmente significativo como lo es la educación. Es posible demostrar el impacto real y duradero de las intervenciones neurodidácticas para aumentar los conocimientos y las habilidades de los alumnos. Tanto en la ciencia fundamental como en la investigación psicopedagógica práctica, se han utilizado ejemplos de aprendizaje basado en la neurociencia para poner de manifiesto las oportunidades de avance e innovación en educación. Hay muchos datos accesibles a través de la observación y las evaluaciones psicológicas serias (Covarrubias-Salvatori, 2021), que pueden trasladarse a la neurociencia, lo que incentiva la realización de nuevas investigaciones interdisciplinarias que tengan en cuenta los límites de la práctica educativa y consideren los enfoques neurocientíficos.

A pesar de la cantidad de publicaciones sobre la relación entre la neurociencia y la educación, así como las investigaciones neurocientíficas que se han publicado, la neuroeducación sigue teniendo una forma ambigua. A diferencia de un sistema científico unificado con una base conceptual y un producto técnico elaborado, continúa como una colección de investigaciones separadas.

Para darle certidumbre a la nueva ciencia educativa, las conclusiones deben basarse únicamente en hechos, logros estudiados y publicados de la literatura científica en las que se pueda tener confianza, especialmente evaluados por pares como las revistas en los índices de Reuters en la *Web of Science* y de las publicaciones en *Scopus*. Lo mismo en las publicaciones en Latinoamérica comprometidas con la calidad como las que aparecen en *Scielo* y en el índice de CONACYT.

En este punto, el problema de encontrar los recursos necesarios para completar la construcción de un corpus de conocimiento unificado no debe ser más que temporal. Se insiste aquí en la necesidad de crear un vínculo teórico y práctico entre la neurociencia y la educación; así, el enfoque neuropsicológico que han adoptado notables neurofisiólogos y neuropsicólogos puede ser aprovechado para una mejor metodología educativa.

Como ya se ha dicho, las diversas disciplinas, como la psicología, la neurociencia, la informática, la neurobiología, la ciencia cognitiva, la pedagogía, la filosofía de la mente y la filosofía de la educación, son los eslabones entre la neurociencia y la educación. La validez de estas perspectivas apoya las normas

pedagógicas, los valores compartidos (Berns *et al.*, 2012) y, por consecuencia, una investigación sólida (Conill, 2019). Por eso los procesos particulares que se producen en el aula deben ser objeto de exploración multidisciplinaria y de indicadores confiables.

Si bien el diálogo entre representantes de la neurociencia, la psicología, la filosofía, la informática y la pedagogía como ciencias de la educación es incipiente, es necesario mantener conversaciones conjuntas para el desarrollar el área de investigación de la neuroeducación de modo constructivo y multidisciplinario (Joldersma, 2018).

Se requiere incorporar no sólo el campo de la educación, sino los resultados de los adelantos que han logrado diversas ciencias y sus áreas afines para adecuar los planes de estudio de la formación docente. La revisión de métodos y resultados probados que revelen los mecanismos cerebrales del funcionamiento cognitivo y el desarrollo de las habilidades de aprendizaje de forma científica, esto es, con metodología probada y evaluación por comités de pares (Devonshire y Dommett, 2010).

Es necesario, por tanto, evaluar los datos sobre los correlatos neuronales de la actividad cognitiva a través de la lente de la experiencia psicopedagógica para establecer la conexión entre los hallazgos de la investigación cerebral fundamental y la práctica educativa. Esto no puede estar desvinculado. Al mismo tiempo, se requiere más investigación práctica para validar la utilidad de incorporar enfoques de aprendizaje basados en el cerebro (OCDE, 2008).

Al desarrollar distintos currículos para la formación y desarrollo de un sistema educativo profesional, debe incorporarse la investigación disponible que indique que es fundamental considerar las funciones ejecutivas, la experiencia sensomotora en el contexto que acompaña a la adquisición de un nuevo conocimiento, las especificidades de los procesos cognitivos como la memoria, la atención, la percepción, la motivación para el aprendizaje, así como el entorno de interacción social favorable en el que se desarrollan los educandos (OCDE, 2008).

Por ello, los temas de las ciencias cognitivas deberán incluirse en los programas de preparación docente, realizar las adaptaciones curriculares correspondientes y observar el potencial de utilizar los hallazgos de la neurociencia en el contenido de la formación profesional. Los educadores comprenderán las fortalezas de los resultados de las investigaciones realizadas en el aula, lo que mejorará su capacidad para optimizar el aprendizaje y emprender nuevas investigaciones.

El futuro ya está aquí, con nuevos retos, nuevas perspectivas y debe ser aprovechado como una oportunidad para la nueva época post-covid en la educación.

## IV. CONCLUSIÓN

Hasta aquí se ha visto la posibilidad de que las recomendaciones científicas para la neurociencia educativa resulten extrañas o incluso, en algunos casos, incomprensibles. Esto se debe en parte a las importantes disparidades culturales y léxicas que existen entre la comunidad de investigadores científicos y la comunidad docente, en muchos casos, la ciencia, especialmente las neurociencias, que utilizan un vocabulario que difícilmente es compartido por otras disciplinas.

Es cierto que existen importantes barreras para el éxito educativo que pueden ser superadas con la neuroeducación. Las oportunidades profesionales y las posibilidades sociales de las personas que no dominan habilidades fundamentales como el lenguaje, la lectura o el cálculo, pueden ser solventadas por caminos alternativos y es aquí en donde hacen su entrada las neurociencias enfocadas a la pedagogía y a la andragogía. Ambos puntos de vista, la neurociencia y la pedagogía reconocen que la educación da la oportunidad de construir métodos más eficaces para ayudar a personas de todos los orígenes y edades a encontrar un papel significativo y fructífero en su vida y en la sociedad.

A pesar de estos objetivos compartidos, a veces se critica al campo de la neurociencia por minimizar los problemas a los que se enfrentan quienes tienen que “sobrevivir” en el aula. Una defensa contra las acusaciones de reduccionismo y determinismo es que la neurociencia reconoce que cada persona es un individuo y el cerebro es un sistema complejo que funciona en los niveles neurológico, cognitivo y social, desarrollando diversas interacciones multinivel, pero que, sin la comprensión de esos procesos emergentes, difícilmente se podrá tomar el control y dirección de las potencialidades inherentes a la persona.

El campo de la neurociencia es una parte esencial del sistema educativo y, como tal, constituye una contribución básica para enriquecer la comprensión de la cognición y el comportamiento humano. Además, se debe considerar que las predisposiciones biológicas deterministas son una falacia, ya que su influencia es probabilística y depende del entorno en el que sí se puede influir.

Se requiere una conversación sostenida entre los neurocientíficos y un amplio abanico de otros académicos y profesionales de diversos campos si se quiere que la neurociencia educativa se convierta en una nueva disciplina eficaz y tenga influencia significativa en la calidad del aprendizaje de todos los alumnos.

El desarrollo de un conocimiento más profundo de los fundamentos neurobiológicos del aprendizaje tiene el potencial de ayudar a la gran mayoría de las personas a convertirse en miembros satisfechos y productivos de la sociedad, capaces de adaptarse con éxito a las condiciones cambiantes a lo largo de su vida. Esto no sólo se aplica a los niños en edad escolar que están aprendiendo a leer, escribir y contar, sino también a los adolescentes que tienen una variedad de opciones para elegir una carrera, así como a los adultos que están contribuyendo a la economía mediante el uso de sus habilidades mientras trabajan. También es aplicable a las personas mayores que buscan mantener sus habilidades actuales y aprender otras nuevas para combatir los efectos del envejecimiento y ralentizar la degradación neuronal.

La investigación en neurociencia trata de caracterizar los procesos de aprendizaje, así como los factores que contribuyen a las variaciones individuales en la capacidad de afrontar la vida. Por lo tanto, es una herramienta para la política educativa basada en la ciencia que puede ayudar a evaluar la eficacia y el efecto de diversas técnicas pedagógicas. Además, la neurociencia puede arrojar luz sobre las formas en que la educación contribuye a generar beneficios sociales más amplios, como la mejora de la salud, las oportunidades profesionales y el bienestar.

Aún es demasiado pronto para hacer una propuesta definitiva para la educación de la neurociencia cognitiva. El propósito de la educación no está dentro del alcance de una *ciencia dura* y quien pretenda hacerlo terminará en un conductismo ya superado. Incluso si el método de educación puede verificarse científicamente, el propósito de la educación no se puede determinar apodícticamente. Con esto en mente, se debe explorar el vínculo entre la neurociencia cognitiva, la neuropsicología y la educación, además de las disciplinas ya mencionadas. En respuesta a la tendencia de colaboración entre diferentes campos, la neurociencia cognitiva y la educación podrán cooperar respetando sus fronteras epistémicas, pero generando dinámicas multi y transdisciplinarias.

En este momento, no se puede tener un efecto inmediato concreto de la aplicación de técnicas de la neuroeducación a corto plazo, se requiere un cambio de enfoque, de *paradigma*. La neurociencia cognitiva y la educación son saludables porque están sutilmente conectadas. La colaboración ciertamente parece atractiva, pero se necesitará una buena cantidad de esfuerzo e investigación para integrarlas en un sólo *corpus*.

En la tendencia actual, aunque hay cooperación entre campos que están cerca unos de otros, no es fácil un mutuo desarrollo entre ámbitos que no están relacionados entre sí y que no son campos adyacentes. Es deseable concluir esta propuesta señalando brevemente lo que se debe hacer para construir una conexión entre la neurociencia cognitiva y la educación: mientras hay tendencias subjetivistas que quieren abandonar la ciencia, hay una necesidad urgente de cultivar la alfabetización científica. Puede sonar contradictorio decir, por un lado, que la educación nunca será una *ciencia dura*, y por el otro, que se necesita precisamente de un mayor enfoque científico para lograr verdades evidentes en este campo.

La investigación debe basarse en los resultados reales del aprendizaje, en una investigación rigurosamente probada con hipótesis claras. Se puede aspirar a que sea convincente el conjunto de argumentos para suponer un impacto positivo en el aprendizaje de los datos de la ciencia del cerebro. Para que la alfabetización científica en educación sea una colaboración significativa, en lugar de sólo un tema de discusión, la neurociencia cognitiva y la educación deben actuar con vasos comunicantes. Es necesario, por lo tanto, si se cultiva la alfabetización científica, que la neurociencia cognitiva no esté lejos de la pedagogía, y mucho menos de las aulas de Puebla, de México y del mundo.



## V. BIBLIOGRAFÍA

- Abas, M., Solihatin, E. y Nadiroh. (2019). Effect of instructional models and interpersonal intelligence on the social studies learning outcomes. *International Journal of Instruction*, 12(4), 705-718. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1230089>
- Abrahão, A. L. B., dos Santos Elias, L. C. y Silva, E. F. e. (2022). ADHD Students, Teachers, and Families: a Triangulation Study. *Trends in Psychology*. <https://doi.org/10.1007/s43076-022-00154-x>
- Abramov, E., Dolev, I., Fogel, H., Ciccotosto, G. D., Ruff, E. y Slutsky, I. (2009). Amyloid- $\beta$  as a positive endogenous regulator of release probability at hippocampal synapses. *Nature Neuroscience*, 12(12), 1567-1576. <https://go.nature.com/3QyCGlf>
- Aguilar, R. (2021). ¿La rehabilitación mejora la función del cerebro dañado a través de la plasticidad cerebral y la regeneración neurológica? Parte 1. *Plasticidad y Restauración Neurológica*, 8(1), 19-27. <https://bit.ly/3A9K1bl>
- Al-Dlaigan, Y. H., Alahmari, A. S., Almubarak, S. H., Alateeq, S. A. y Anil, S. (2017). Study on personality types of dentists in different disciplines of dentistry. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 18(7), 554-558. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28713107/>
- Allen, M. (2020). Unravelling the Neurobiology of Interoceptive Inference. *Trends in Cognitive Sciences*, 24(4), 265-266. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.02.002>
- Al-Saffar, L. T. A. (2014). Learning styles of students at the Department of Computer Science – University of Potsdam. En: Vol. 444. *IFIP Advances in Information and Communication Technology* (pp. 68-75). [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-45770-2\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-45770-2_8)
- Alvarado, J. (2019). Sobre lo “neuro” en la neuroeducación: de la psicologización a la neurologización de la escuela. *Sophia*, (26), 141-169. <https://doi.org/10.17163/soph.n26.2019.04>
- Anand, K. y Chellamani, K. (2021). Pedagogical Challenges and Neurocognition in Education for the 21st Century. In K. A. Thomas, J. V. Kureethara y S. Bhattacharyya (Eds.), *Neuro-Systemic Applications in Learning* (pp. 179-201). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9_9)
- Anderson, E. (2019). Mediators and Modulators of Mechanotransduction in the Somatosensory System (tesis). Yale University. <https://bit.ly/3O9joaB>
- Anderson, S. J., Hecker, K. G., Krigolson, O. E. y Jamniczky, H. A. (2018). A Reinforcement-Based Learning Paradigm Increases Anatomical Learning and Retention-A Neuroeducation Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, Article 38. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00038>

- Ansari, D., De Smedt, B. y Grabner, R. H. (2012). Neuroeducation - A Critical Overview of An Emerging Field. *Neuroethics*, 5(2), 105-117. <https://doi.org/10.1007/s12152-011-9119-3>
- Antonini, A. y Stryker, M. P. (1993). Development of individual geniculocortical arbors in cat striate cortex and effects of binocular impulse blockade. *Journal of Neuroscience*, 13(8), 3549-3573. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8340819/>
- Anton-Ares, P. A., Bermudez, L. M. y Chinchilla, M. R. H. (2016). Neurodidáctica y estrategias de aprendizaje para la inclusión. Desarrollo de competencias comunicativas en niños y niñas con riesgo biológico y/o social. *Revista de Educación Inclusiva*, 9(1), 43-53. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5455554>
- Arsenal, R. M. y Pinar-Pérez, J. M. (2021). A Hybrid Model of Learning Methodology Analyzed Through the Use of Machine Learning Techniques. In F. P. García Márquez y B. Lev (Eds.), *Introduction to Internet of Things in Management Science and Operations Research: Implemented Studies* (pp. 77-103). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74644-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74644-5_4)
- Assaf, Y. (2018). New dimensions for brain mapping. *Science*, 362(6418), 994-995. <https://doi.org/10.1126/science.aav7357>
- Azmitia, E. C. (2007). Cajal and brain plasticity: Insights relevant to emerging concepts of mind. *Brain Research Reviews*, 55(2), 395-405. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.01.010>
- Balasubramanian, P., Balamurugan, T. S. T., Chen, S. M., Chen, T. W. y Sathesh, T. (2018). Rational design of Cu@ Cu<sub>2</sub>O nanospheres anchored B, N co-doped mesoporous carbon: a sustainable electrocatalyst to assay eminent neurotransmitters acetylcholine and dopamine. *ACS Sustainable Chemistry y Engineering*, 7(6), 5669-5680. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b04473>
- Ballesta-Claver, J., Blanco, M. F. A. y Perez, I. A. G. (2021). A Revisited Conceptual Change in Mathematical-Physics Education from a Neurodidactic Approach: A Pendulum Inquiry. *Mathematics*, 9(15), Article 1755. <https://doi.org/10.3390/math9151755>
- Barraza-Rodríguez, P. (2017). El neuro-mito de los estilos de aprendizaje (mimeo). CIAE, 1-4. <https://bit.ly/3QB6nbC>
- Bathelt, J., Gathercole, S. E. y Astle, D. (2017). The role of the structural connectome in literacy and numeracy development in children (preprint). <https://doi.org/10.31234/osf.io/jk6yb>
- Barrett, N., Swain, I., Gatzidis, C. y Mecheraoui, C. (2016). The use and effect of video game design theory in the creation of game-based systems for upper limb stroke rehabilitation. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 3, 2055668316643644. <https://doi.org/10.1177/2055668316643644>
- Battro, A. M., Fischer, K. W. y Léna, P. (2008). *The educated bra En: essays in neuroeducation*. Cambridge University Press. <https://bit.ly/3N3iHhO>
- Baumann, M. H., Tocco, G., Papsun, D. M., Mohr, A. L., Fogarty, M. F. y Krotulski, A. J. (2020). U-47700 and its analogs: non-fentanyl synthetic opioids impacting the recreational drug market. *Brain Sciences*, 10(11), 895. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33238449/>

- Bayle-Tourtoulou, A.-S. y Badoc, M. (2020). *The Neuro-consumer: Adapting Marketing and Communication Strategies for the Subconscious, Instinctive and Irrational Consumer's Brain*. Routledge. <https://bit.ly/3O3XSEh>
- Beauparlant, J., van den Brand, R., Barraud, Q., Friedli, L., Musienko, P., Dietz, V. y Courtine, G. (2013). Undirected compensatory plasticity contributes to neuronal dysfunction after severe spinal cord injury. *Brain*, 136(11), 3347-3361. <https://doi.org/10.1093/brain/awt204>
- Bellesi, M. (2019). Chapter 36 - The Effects of Sleep Loss on Brain Functioning. In H. C. Dringenberg (Ed.), *Handbook of Behavioral Neuroscience* (Vol. 30, pp. 545-556): Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/handbook/handbook-of-behavioral-neuroscience/vol/30>
- Bellini, M. I., Pengel, L., Potena, L., Segantini, L. y Grp, E. C.-W. (2021). COVID-19 and education: restructuring after the pandemic. *Transplant International*, 34(2), 220-223. <https://doi.org/10.1111/tri.13788>
- Bengtsson, S. L., Nagy, Z., Skare, S., Forsman, L., Forssberg, H. y Ullén, F. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1148-1150. <https://doi.org/10.1038/nn1516>
- Berglund, E., Lytsy, P. y Westerling, R. (2016). Active traveling and its associations with self-rated health, BMI and physical activity: A comparative study in the adult Swedish population. *International journal of environmental research and public health*, 13(5), 455. <https://doi.org/10.3390%2Fijerph13050455>
- Bernal Guerrero, A. (2005). Reconceptualización de la identidad personal y educación para la autodeterminación posible. *Teoría de la educación*, 17, 97-128. <https://doi.org/10.14201/3114>
- Berns, G. S., Bell, E., Capra, C. M., Prietula, M. J., Moore, S., Anderson, B.,... Atran, S. (2012). The price of your soul: neural evidence for the non-utilitarian representation of sacred values. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1589), 754-762. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0262>
- Besson, L. (Writer). (2014). *Lucy*. Francia: Europacorp. <https://www.imdb.com/title/tt2872732/>
- Blumenfeld-Jones, D. (2009). Bodily-kinesthetic intelligence and dance education: Critique, revision, and potentials for the democratic ideal. *Journal of Aesthetic Education*, 43(1), 59-76. <https://muse.jhu.edu/article/258508>
- Bonda, E. (2012). Neuroeducation: Neurocognitive enhancement of the developing brain. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 15, 176-176. <https://doi.org/10.1017/S1461145712000508>
- Borst, G., Masson, S. y Project Muse. (2017). *Méthodes de recherche en neuroéducation*. Presses de l'Université du Québec. <https://bit.ly/3zRw3L7>
- Boyle, G. J. (1995). Myers-Briggs Type Indicator (MBTI): Some Psychometric Limitations. *Australian Psychologist*, 30(1), 71-74. <https://doi.org/10.1111/j.1742-9544.1995.tb01750.x>

- Bresciani, M. J. (2016). *The neuroscience of learning and development: enhancing creativity, compassion, critical thinking, and peace in higher education* (First edition. ed.). Sterling, Virginia: Stylus Publishing, LLC, ACPA. <https://bit.ly/3tRv8q6>
- Brewin, C. (2018). Memory and Forgetting. *Current Psychiatry Reports*, 20(87). <https://doi.org/10.1007/s11920-018-0950-7>
- Brooks, A. (Writer). (1991). *Defending Your Life*. In T. G. F. Company (Producer). Estados Unidos. <https://www.imdb.com/title/tt0101698/>
- Broomfield, A. M. y D'Amato, R. C. (2018). Neuroeducation. In J. S. Kreutzer, J. DeLuca y B. Caplan (Eds.), *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology* (pp. 2400-2400). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57111-9\\_9154](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57111-9_9154)
- Brown, T. H., Chapman, P. F., Kairiss, E. W. y Keenan, C. L. (1988). Long-Term Synaptic Potentiation. *Science*, 242(4879), 724-728. <https://doi.org/10.1126/science.2903551>
- Bruce, D. (1996). Lashley, Hebb, connections, and criticisms. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 37(3), 129-136. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0084734>
- Bruer, J. T. (2016). Neuroeducación: Un panorama desde el puente. *Propuesta educativa*, (46), 14-25. <https://www.redalyc.org/pdf/4030/403049783003.pdf>
- Bruyckere, P. D., Kirschner, P. A. y Hulshof, C. D. (2015). Chapter 2 - Myths about Learning. En *Urban Myths about Learning and Education*, 17-92. <https://bit.ly/3n66sq5>
- Calatayud, M. (2018) Hacia una cultura neurodidáctica de la evaluación: la percepción del alumnado universitario. *Revista Iberoamericana de educación*, 78(1), 67-85. <https://rieoei.org/RIE/article/view/3212/3997>
- Capraro, R. M. y Capraro, M. M. (2002). Myers-briggs type indicator score reliability across studies: A meta-analytic reliability generalization study. *Educational and Psychological Measurement*, 62(4), 590-602. <https://doi.org/10.1177%2F0013164402062004004>
- Capuzzi, S. J., Muratov, E. N. y Tropsha, A. (2017) Phantom PAINS: Problems with the Utility of Alerts for Pan-Assay INterference CompoundS. *Journal of chemical information and modeling*, 57(3), 417-427. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28165734/>
- Carnegie, D. (1936). *How to Win Friends and Influence People*. NY: Simon y Schuster. <https://bit.ly/3N9q2MV>
- Carnegie, D. (2010). *Cómo ganar amigos e influir sobre las personas*. Vintage Español. <http://www.worldcat.org/oclc/1315605357>
- Carrillo-Avalos, B. A., y Laguna-Maldonado, K. D. (2022). Neuromitos del aprendizaje en un programa de posgrado de educación en ciencias de la salud. *Investigación en educación médica*, 11, 103-104. <https://doi.org/10.22201/fm.20075057e.2022.41.21401>
- Chaudhury, S. (2018). *Synaptic Plasticity: Roles, Research and Insights*. New York: Nova Medicine and Health. <http://www.worldcat.org/oclc/1029806521>
- Cherry, K. (2020). How Many Neurons Are in the Brain? *VerywellMind*. <https://www.verywellmind.com/how-many-neurons-are-in-the-brain-2794889?print>

- Choquet, D. y Triller, A. (2003). The role of receptor diffusion in the organization of the postsynaptic membrane. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(4), 251-265. <https://doi.org/10.1038/nrn1077>
- Choudhury, S. y Wannyn, W. (2022). Politics of Plasticity: Implications of the New Science of the “Teen Brain” for Education. *Culture, Medicine, and Psychiatry*, 46(1), 31-58. <https://doi.org/10.1007/s11013-021-09731-8>
- Chung, H. J., Weyandt, L. L. y Swentosky, A. (2014). The Physiology of Executive Functioning. In S. Goldstein y J. A. Naglieri (Eds.), *Handbook of Executive Functioning* (pp. 13-27). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5_2)
- Clark, J. (2015). Philosophy, Neuroscience and Education. *Educational Philosophy and Theory*, 47(1), 36-46. <https://doi.org/10.1080/00131857.2013.866532>
- Clark, Q., Mohler, J. L. y Magana, A. J. (2015). Learning style dynamics. Paper presented at the ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings. <https://peer.asee.org/24413.pdf>
- Clemenson, G. D. y Stark, C. E. L. (2015). Virtual Environmental Enrichment through Video Games Improves Hippocampal-Associated Memory. *The Journal of Neuroscience*, 35(49), 16116-16125. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2580-15.2015>
- Coelho, A. E. D. y Malheiro, J. M. D. (2021). Neuroeducation and the construction of Cognitive Skills Indicators. *Educacao*, 46, 1-29. <https://doi.org/10.5902/19846444443817>
- Cohen, P. (1995). Understanding the braEn: Educators seek to apply brain based research. *Education Update*, 37(7), 7-10. <https://bit.ly/39HyhSF>
- Coolidge, F. L. y Wynn, T. G. (2018). *The rise of Homo sapiens: The evolution of modern thinking*. Oxford University Press. <http://www.worldcat.org/oclc/1052612876>
- Compagno, G. y Pedone, F. (2016, Mar 07-09). Teacher training paths between neuroeducation and professional learning community. *INTED Proceedings. 10th International Technology, Education and Development Conference (INTED)*, Valencia, España. <https://core.ac.uk/download/pdf/80165239.pdf>
- Conill, J. (2019). Must Ethics for Moral Neuroeducation Be Naturalistic? In P. Calvo y J. Gracia-Calandín (Eds.), *Moral Neuroeducation for a Democratic and Pluralistic Society* (pp. 3-18). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22562-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22562-9_1)
- Costandi, M. (2016). *Neuroplasticity*. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/books/neuroplasticity>
- Cox, W. T. L., Abramson, L. Y., Devine, P. G. y Hollon, S. D. (2012). Stereotypes, Prejudice, and Depression: The Integrated Perspective. *Perspectives on Psychological Science*, 7(5), 427-449. <http://dx.doi.org/10.1177/1745691612455204>
- Crowe, M. J., Bresnahan, J. C., Shuman, S. L., Masters, J. N. y Beattie, M. S. (1997). Apoptosis and delayed degeneration after spinal cord injury in rats and monkeys. *Nature Medicine*, 3(1), 73-76. <https://doi.org/10.1038/nm0197-73>
- Covarrubias-Salvatori, V.G. (2021). El coeficiente de desigualdad de Theil en un estudio de test-retest del MMPI-A. *Academia Journals*, 3(2), 1-116. <https://bit.ly/3OL8tnC>

- Cusme, Z. L. C. y Montes, L. C. Z. (2021). Neurodidactic strategies applied by teachers at the Angel Arteaga school of Santa Ana. *Revista San Gregorio*, (46), 150-163. <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i46.1704>
- Damasio, A. (1999). *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*. Harcourt.
- Damasio, A. (2007). *En busca de Spinoza. Neurobiología de la emoción y los sentimientos*. Crítica.
- Damasio, A. (2010). *Self comes to mind: Constructing the conscious brain*. Vintage.
- Damasio, A. (2010). *Y el cerebro creó al hombre*. Destino.
- Damasio, A. (2011). *En busca de Spinoza. Neurobiología de la emoción y los sentimientos*. Destino.
- De Haan, E. H. F., Corballis, P. M., Hillyard, S. A., Marzi, C. A., Seth, A., Lamme, V. A. F.,... Pinto, Y. (2020). Split-BraEn: What We Know Now and Why This is Important for Understanding Consciousness. *Neuropsychology Review*, 30(2), 224-233. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11065-020-09439-3>
- De Horteaga, E. y Garcia, E. G. (2012, Nov 19-21). Neuroeducation as the source of educational programs: a proposal based on the findings of neuroscience within the frame of globalization. 5th International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI), Madrid, España. <https://library.iated.org/view/DEHORTEGA2012NEU>
- De la Maza, M. (2002). *Rapid Chess Improvement: a study plan for adult players: Everyman Chess*. <http://www.worldcat.org/oclc/906997367>
- De Tienda Palop, L. (2019). The Role of the Emotions in Moral Neuroeducation. In P. Calvo y J. Gracia-Calandín (Eds.), *Moral Neuroeducation for a Democratic and Pluralistic Society* (pp. 61-75). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22562-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22562-9_5)
- De Vos, J. (2016). The Death and the Resurrection of (Psy)critique: The Case of Neuroeducation. *Foundations of Science*, 21(1), 129-145. <https://doi.org/10.1007/s10699-014-9369-8>
- Deans, A. R., Lewis, S. E., Huala, E., Anzaldo, S. S., Ashburner, M., Balhoff, J. P.,... Chanet, B. (2015). Finding our way through phenotypes. *PLoS biology*, 13(1), e1002033. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002033>
- D'Antonio, J., Simon-Pearson, L., Goldberg, T., Sneed, J. R., Rushia, S., Kerner, N.,... y Devanand, D. (2019). Cognitive training and neuroplasticity in mild cognitive impairment (COG-IT): protocol for a two-site, blinded, randomised, controlled treatment trial. *BMJ open*, 9(8), e028536. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2018-028536corr1>
- Debas, K., Carrier, J., Orban, P., Barakat, M., Lungu, O., Vandewalle, G.,... Doyon, J. (2010). Brain plasticity related to the consolidation of motor sequence learning and motor adaptation. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 107(41), 17839-17844. <https://doi.org/10.1073/pnas.1013176107>
- del Manzano, B. S. A. (2020). New stimulation methodologies for the learning teaching process. *Revista Inclusiones*, 7, 193-204. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED610428.pdf>

- Della Sala, S. (2007). *Tall Tales about the Mind and BraEn: Separating Fact from Fiction*: Oxford University Press, USA. <http://www.worldcat.org/oclc/731638428>
- Demarin, V., Morović, S. y Béné, R. (2014). Neuroplasticity. *Periodicum Biologorum*, 116(2), 209-211. <https://bit.ly/3Osu9Vk>
- Demb, J. B. y Singer, J. H. (2016). Mind the Gap Junctions: The Importance of Electrical Synapses to Visual Processing. *Neuron*, 90(2), 207-209. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.04.007>
- Deros, D. E., Grant, D. M., Kraft, J. D., Nagel, K. M. y Hahn, B. J. (2022). Self-Imagery and Attentional Control Maintenance Factors of Social Anxiety: A Comparison of Trait and State Assessments. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 44(2), 570-581. <https://doi.org/10.1007/s10862-021-09924-w>
- Descalzi, G. (1996). *Educación y autorrealización*. Fondo Editorial PUCP. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/181570>
- Devonshire, I. M. y Dommett, E. J. (2010). Neuroscience: Viable Applications in Education?. *Neuroscientist*, 16(4), 349-356. <https://doi.org/10.1177/1073858410370900>
- DiLorenzo, D. J. y Bronzino, J. D. (2007). *Neuroengineering*: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780849381850>
- Doukakis, S. y Alexopoulos, E. C. (2021). The Role of Educational Neuroscience in Distance Learning. Knowledge Transformation Opportunities. In M. E. Auer y D. Visions and Concepts for Education 4.0. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-67209-6\\_18](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-67209-6_18)
- Duan, X., Zhu, T., Chen, C., Zhang, G., Zhang, J., Wang, L..... Wang, X. (2018). Serum glial cell line-derived neurotrophic factor levels and postoperative cognitive dysfunction after surgery for rheumatic heart disease. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 155(3), 958-965.e951. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28918204/>
- Duchesne, S. M. A. (2016). *Educational psychology for learning and teaching*. Victoria: Cengage Learning Australia. Susan Duchesne; Anne McMaugh; Erin Mackenzie
- Duda, B. M., Owens, M. M., Hallowell, E. S. y Sweet, L. H. (2019). Neurocompensatory Effects of the Default Network in Older Adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 11. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnagi.2019.00111/full>
- Duque, S. (2021). Antonio Egas Moniz: el doctor que curaba la tristeza perforando cráneos. *Salud con lupa*. <https://bit.ly/3QBxYp>
- Durkheim, E. (2020). *Historia de la educación y de las doctrinas pedagógicas: la evolución pedagógica en Francia*. Ediciones Morata. <http://www.worldcat.org/oclc/1182837994>
- Edwards, J. A., Lanning, K. y Hooker, K. (2002). The MBTI and social information processing: An incremental validity study. *Journal of Personality Assessment*, 78(3), 432-450. [https://doi.org/10.1207/S15327752JPA7803\\_04](https://doi.org/10.1207/S15327752JPA7803_04)
- El Fazazi, H., Samadi, A., Qbadou, M., Mansouri, K. y Elgarej, M. (2019). A learning style identification approach in adaptive e-learning system. En: Vol. 111. *Smart Innovation*,

Systems and Technologies (pp. 82-89). [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-03577-8\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-03577-8_10)

- El-Bishouty, M. M., Chang, T. W., Kinshuk y Graf, S. (2012). A framework for analyzing course contents in learning management systems with respect to learning styles. Paper presented at the Proceedings of the 20th International Conference on Computers in Education, ICCE 2012. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-39146-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39146-0_13)
- Elmer, M. I. y Elmer, D. H. (2020). *The Learning Cycle: Insights for Faithful Teaching from Neuroscience and the Social Sciences*. InterVarsity Press. <http://www.worldcat.org/oclc/1125347649>
- Elouafi, L., Lotfi, S. y Talbi, M. (2021). Progress Report in Neuroscience and Education: Experiment of Four Neuropedagogical Methods. *Education Sciences*, 11(8), Article 373. <https://doi.org/10.3390/educsci11080373>
- Enoka, R. M., Amiridis, I. G. y Duchateau, J. (2020). Electrical Stimulation of Muscle: Electrophysiology and Rehabilitation. *Physiology (Bethesda)*, 35(1), 40-56. <https://doi.org/10.1152/physiol.00015.2019>
- Erkut, E. (2020). Higher Education after Covid-19. *Yuksekogretim Dergisi*, 10(2), 125-133. <https://doi.org/10.2399/yod.20.002>
- Ernst, M. y Luciana, M. (2015). Neuroimaging of the dopamine/reward system in adolescent drug use. *CNS Spectrums*, 20(4), 427-441. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26095977/>
- Fariadi, R., Abu Bakar, U., Khilmiyah, A. y Rahmanto, M. (2022). Implementation of the Prophet Muhammad's Learning Strategy and the Impact on the Psychology of Students. *International Journal of Early Childhood Special Education*, 14(1), 647-656. <https://doi.org/10.9756/int-jecse/v14i1.221077>
- Ferrero, M., Vadillo, M. A. y León, S. P. (2021). A valid evaluation of the theory of multiple intelligences is not yet possible: Problems of methodological quality for intervention studies. *Intelligence*, 88, 101566. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160289621000507>
- Fournier, V., Durand-Delvigne, A. y De Bosscher, S. (2020). Garçons et filles: interactions pédagogiques différenciées? *Enfance*, 4(4), 509-526. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7653816>
- Francis, L. J. y Dato, F. A. (2012). Inside the mosque: A study in psychological-type profiling. *Mental Health, Religion and Culture*, 15(10), 1037-1046. <https://doi.org/10.1080/13674676.2012.709723>
- Frankowski, N. (Writer). (2011). *The Dark Fields*. In V. Produced (Producer). Estados Unidos. <https://www.imdb.com/title/tt1212023/>
- Franze, K. (2020). Integrating chemistry and mechanics: the forces driving axon growth. *Annual review of cell and developmental biology*, 36, 61-83. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32603614/>

- Fuchs, E. y Flügge, G. (2014). Adult Neuroplasticity: More Than 40 Years of Research. *Neural Plasticity*, 2014, 541870. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24883212/>
- Fujita, K. y Boeckx, C. A. (2016). *Advances in Biolinguistics: The human language faculty and its biological basis*: Routledge.
- Furnham, A. (1996). The big five versus the big four: The relationship between the Myers-Briggs Type Indicator (MBTI) and NEO-PI five factor model of personality. *Personality and Individual Differences*, 21(2), 303-307. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0191886996000335>
- Furnham, A. (2009). The Validity of a New, Self-report Measure of Multiple Intelligence. *Current Psychology*, 28(4), 225-239. <https://doi.org/10.1007/s12144-009-9064-z>
- Fusar-Poli, P., Allen, P. y McGuire, P. (2008). Egas Moniz (1875–1955), the father of psychosurgery. *British Journal of Psychiatry*, 193(1), 50-50. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18700218/>
- Galvagno, L. G. G. y Elgier, Á. M. (2018). Trazando puentes entre las neurociencias y la educación. Aportes, límites y caminos futuros en el campo educativo. *Psicogente*, 21(40), 476-494. <https://doi.org/10.17081/PSICO.21.40.3087>
- Gardner, H. (1999). *Inteligencias múltiples* (Vol. 46): Paidós Barcelona. <http://www.worldcat.org/oclc/1026336689>
- Gardner, H. E. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*: Basic books. <http://www.worldcat.org/oclc/1200062267>
- Garner, I. (2000). Problems and inconsistencies with Kolb's learning styles. *Educational Psychology*, 20(3), 341-348. <https://doi.org/10.1080/713663745>
- Geake, J. (2008). Neuromythologies in education. *Educational Research*, 50(2), 123-133. <https://doi.org/10.1080/00131880802082518>
- Gelfand, T. (1999). Charcot's Brains. *Brain and Language*, 69(1), 31-55. <https://doi.org/10.1006/brln.1999.2041>
- Gibbons, C. H. (2019). Chapter 27 - Basics of autonomic nervous system function. In K. H. Levin y P. Chauvel (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 160, pp. 407-418): Elsevier. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31277865/>
- Glynn, A. (2001). *The Dark Fields*. Irlanda: Little, Brown and Company. <http://www.worldcat.org/oclc/47973304>
- Goby, V. P. (2006). Personality and online/offline choices: MBTI profiles and favored communication modes in a Singapore study. *Cyberpsychology and Behavior*, 9(1), 5-13. <https://doi.org/10.1089/cpb.2006.9.5>
- Gómez-León, M. I. (2019). Psicobiología de las altas capacidades intelectuales. Una revisión actualizada. *Psiquiatría biológica*, 26(3), 105-112. <https://bit.ly/3n8faEm>
- Goswami, U. (2008). Reading, dyslexia and the brain. *Educational Research*, 50(2), 135-148. <https://doi.org/10.1080/00131880802082625>

- Goulding, J. y Syed-Khuzzan, S. (2014). A study on the validity of a four-variant diagnostic learning styles questionnaire. *Education and Training*, 56(2), 141-164. <https://doi.org/10.1108/ET-11-2012-0109>
- Graf, S. y Kinshuk. (2010). Using cognitive traits for improving the detection of learning styles. Paper presented at the Proceedings - 21st International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA 2010. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5592009>
- Graf, S., Kinshuk, Zhang, Q., Maguire, P. y Shtern, V. (2010). An architecture for dynamic student modelling of learning styles in learning systems and its application for adaptivity. Paper presented at the Proceedings of the IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age, CELDA 2010. <https://www.atlantispress.com/proceedings/icobl-19/articles>
- Graf, S., Viola, S. R. y Kinshuk. (2007). Automatic student modelling for detecting learning style preferences in learning management systems. Paper presented at the IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, CELDA 2007.
- Graus, A. (2021). Child prodigies in Paris in the belle époque: Between child stars and psychological subjects. *History of psychology*, 24(3), 255. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/hop0000192>
- Greene, J. D., Sommerville, R. B., Nystrom, L. E., Darley, J. M. y Cohen, J. D. (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 293(5537), 2105-2108. <https://doi.org/10.1126/science.1062872>
- Grønbaek, K., Iversen, O. S., Kortbek, K. J., Nielsen, K. R. y Aagaard, L. (2007) Interactive floor support for kinesthetic interaction in children learning environments. En: Vol. 4663 LNCS. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) (pp. 361-375).
- Grossman, J. B. y Tierney, J. P. (1998). Does Mentoring Work?: An Impact Study of the Big Brothers Big Sisters Program. *Evaluation Review*, 22(3), 403-426. <https://doi.org/10.1177%2F0193841X9802200304>
- Guraya, S. S., Guraya, S. Y., Habib, F. A. y Khoshhal, K. I. (2014). Learning styles of medical students at taibah university: Trends and implications. *Journal of Research in Medical Sciences*, 19(12), 1155-1162. <https://doi.org/10.4103%2F1735-1995.150455>
- Guy-Evans, O. (2021, July 08). Glial cells types and functions. *Simply Psychology*. <https://www.simplypsychology.org/glial-cells.html>
- Hänggi, J., Brüttsch, K., Siegel, A. M. y Jäncke, L. (2014). The architecture of the chess players brain. *Neuropsychologia*, 62, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.07.019>
- Hagemann, D., Waldstein, S. y Thayer, J. (2003). Central and autonomic nervous system integration in emotion. *Brain and Cognition*, 52 (1), 79-87. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00011-3](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00011-3)

- Harenski, C. L., Harenski, K. A. y Kiehl, K. A. (2014). Neural processing of moral violations among incarcerated adolescents with psychopathic traits. *Developmental cognitive neuroscience*, 10, 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.09.002>
- Harvey, R. J., Murry, W. D. y Stamoulis, D. T. (1995). Unresolved Issues in the Dimensionality of the Myers-Briggs Type Indicator. *Educational and Psychological Measurement*, 55(4), 535-544. <https://doi.org/10.1177%2F0013164495055004002>
- Hasibuan, M. S. y Nugroho, L. (2017). Detecting learning style using hybrid model. Paper presented at the 2016 IEEE Conference on e-Learning, e-Management and e-Services, IC3e 2016. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8009049>
- He, F. y Sun, Y. E. (2007). Glial cells more than support cells?. *The International Journal of Biochemistry y Cell Biology*, 39(4), 661-665. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.10.022>
- Heinze, K., Cumming, J., Dosanjh, A., Palin, S., Poulton, S., Bagshaw, A. P. y Broome, M. R. (2021). Neurobiological evidence of longer-term physical activity interventions on mental health outcomes and cognition in young people: A systematic review of randomised controlled trials. *Neuroscience y Biobehavioral Reviews*, 120, 431-441. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.10.014>
- Hofstein, A. y Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science education*, 88(1), 28-54. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sce.10106>
- Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), 817-824. <https://www.nature.com/articles/nrn3817>
- Hussein, N. S. y Aqel, M. J. (2015). ESTJ: An Expert System for Tourism in Jordan. Paper presented at the *Procedia Computer Science*. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.032>
- lone, A. (2016). *Art and the braEn: plasticity, embodiment, and the unclosed circle*: Brill. <https://brill.com/view/title/33543>
- Isquith, P. K., Roth, R. M. y Gioia, G. A. (2014). Assessment of Executive Functioning Using Tasks of Executive Control. In S. Goldstein y J. A. Naglieri (Eds.), *Handbook of Executive Functioning* (pp. 333-357). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5_19)
- Jahitha Begum, A., Sathishkumar, A. y Rahman, T. H. (2021). Executive Functioning Skills, Neurocognition, and Academic Achievement of UG Students. In K. A. Thomas, J. V. Kureethara y S. Bhattacharyya (Eds.), *Neuro-Systemic Applications in Learning* (pp. 27-46). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9_2)
- Jak, A. J., Seelye, A. M. y Jurick, S. M. (2013). Crosswords to Computers: A Critical Review of Popular Approaches to Cognitive Enhancement. *Neuropsychology Review*, 23(1), 13-26. <https://doi.org/10.1007/s11065-013-9226-5>
- Jäkel, S. y Dimou, L. (2017). Glial Cells and Their Function in the Adult Bra En: A Journey through the History of Their Ablation. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fncel.2017.00024>

- James, W. (1907). The Energies of Men. *Science*, 25(635), 321-332. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.25.635.321>
- Jayasankara Reddy, K., Haritsa, S. V. y Rafiq, A. (2021). Importance of Brain-Based Learning in Effective Teaching Process. In K. A. Thomas, J. V. Kureethara y S. Bhattacharyya (Eds.), *Neuro-Systemic Applications in Learning* (pp. 283-294). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9_14)
- Jilg, A., Lesny, S., Peruzki, N., Schwegler, H., Selbach, O., Dehghani, F. y Stehle, J. H. (2010). Temporal dynamics of mouse hippocampal clock gene expression support memory processing. *Hippocampus*, 20(3), 377-388. <https://doi.org/10.1002/hipo.20637>
- Jiménez, Y., Vivanco, O., Castillo, D., Torres, P. y Jiménez, M. (2021). Artificial Intelligence in Neuroeducation: The Influence of Emotions in the Learning Science. *Innovation and Research, Cham*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-60467-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60467-7_6)
- Joldersma, C. W. (2018). Philosophical Questions and Opportunities at the Intersection of Neuroscience, Education, and Research. In P. Smeyers (Ed.), *International Handbook of Philosophy of Education* (pp. 1261-1278). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72761-5\\_87](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72761-5_87)
- Karamikabir, N. (2012). Gardner's multiple intelligence and mathematics education. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 31, 778-781 <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.140>
- Klingberg, T. (2013). *The learning brain: Memory and brain development in children*. Oxford: Oxford University Press. <http://www.worldcat.org/oclc/781680678>
- Kelley, N. J., Finley, A. J. y Schmeichel, B. J. (2019). Correction to: After-effects of self-control: The reward responsivity hypothesis. *Cognitive, Affective y Behavioral Neuroscience*, 19(4), 1095-1095. <https://doi.org/10.3758/s13415-019-00706-2>
- Khuzzan, S. M. S., Alshawi, M. y Goulding, J. (2009). Learning styles inventory: A diagnostic questionnaire for construction. Paper presented at the Proceedings - International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE 2009.
- Kierdorf, K., Prinz, M., Geissmann, F. y Gomez Perdiguero, E. (2015). Development and function of tissue resident macrophages in mice. *Seminars in immunology*, 27(6), 369-378. <https://doi.org/10.1016/j.smim.2016.03.017>
- Kirkgöz, Y. (2010). Catering for multiple intelligences in locally-published ELT textbooks in Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 3, 127-130. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.07.023>
- Kirschner, P. A. (2017). Stop propagating the learning styles myth. *Computers y Education*, 106, 166-171. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.006>
- Kleiser, R. (Writer). (1986). *Flight of the Navigator*. Viking Film: Estados Unidos. <https://www.imdb.com/title/tt0091059/>
- Klinzing, J. G. y Diekelmann, S. (2019). Chapter 31 - Cued Memory Reactivation: A Tool to Manipulate Memory Consolidation During Sleep. En: H. C. Dringenberg (Ed.), *Handbook*

- of Behavioral Neuroscience (Vol. 30, pp. 471-488): Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813743-7.00031-1>
- Koike, T., Sumiya, M., Nakagawa, E., Okazaki, S. y Sadato, N. (2019). What makes eye contact special? Neural substrates of on-line mutual eye-gaze: a hyperscanning fMRI study. *Eneuro*, 6(1). <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0284-18.2019>
- Kolb, D. (1984). *Experiential learning experiences as the source of learning development*. Nueva York: Prentice Hall. <http://www.worldcat.org/oclc/48613307>
- Kraus, C., Castrén, E., Kasper, S. y Lanzenberger, R. (2017). Serotonin and neuroplasticity – Links between molecular, functional and structural pathophysiology in depression. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 77, 317-326. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.03.007>
- Kumari, P., Srinivasan, B. y Banerjee, S. (2017). Modulation of hippocampal synapse maturation by activity-regulated E3 ligase via non-canonical pathway. *Neuroscience*, 364, 226-241. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.08.057>
- Kühn, S., Gleich, T., Lorenz, R. C., Lindenberger, U. y Gallinat, J. (2014). Playing Super Mario induces structural brain plasticity: gray matter changes resulting from training with a commercial video game. *Molecular psychiatry*, 19(2), 265-271. [https://www.nature.com/articles/mp2013120?TB\\_iframe=true&width=288&height=432](https://www.nature.com/articles/mp2013120?TB_iframe=true&width=288&height=432)
- Kupers, R. y Ptito, M. (2014). Compensatory plasticity and cross-modal reorganization following early visual deprivation. *Neuroscience y Biobehavioral Reviews*, 41, 36-52. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.08.001>
- Kvernbekk, T. (2015). *Evidence-based practice in education: Functions of evidence and causal presuppositions*: Routledge. <http://www.worldcat.org/oclc/1064926188>
- Lai, H. Y., Lee, C. Y., Chiu, A. y Lee, S. T. (2014). The preferred learning styles of neurosurgeons, neurosurgery residents, and neurology residents: Implications in the neurosurgical field. *World Neurosurgery*, 82(3), 298-303. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2014.04.067>
- Langeloo, A., Mascareño Lara, M., Deunk, M. I., Klitzing, N. F. y Strijbos, J.-W. (2019). A systematic review of teacher-child interactions with multilingual young children. *Review of Educational Research*, 89(4), 536-568. <https://doi.org/10.3102%2F0034654319855619>
- Lashley, K. S. (1929). *Brain mechanisms and intelligence: A quantitative study of injuries to the brain*. Chicago, IL, US: University of Chicago Press. <http://www.worldcat.org/oclc/837934752>
- Laws, J. y Edward, R (1999). Neurosurgery's man of the century: Harvey Cushing - The man and his legacy. *Neurosurgery*, 45 (5), 977 - 982. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10549917/>
- Lazzouni, L. y Lepore, F. (2014). Compensatory plasticity: time matters. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 340. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00340>
- Leikin, R. (2018). How Can Cognitive Neuroscience Contribute to Mathematics Education? Bridging the Two Research Areas. En: G. Kaiser, H. Forgasz, M. Graven, A. Kuzniak, E.

- Simmt y B. Xu, Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72170-5\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72170-5_21)
- León, A. (2007). Qué es la educación. *Educere*, 11, 595-604. <https://www.redalyc.org/pdf/356/35603903.pdf>
- Li, N., Li, Y., Li, L.-J., Zhu, K., Zheng, Y. y Wang, X. (2019). Glutamate receptor delocalization in postsynaptic membrane and reduced hippocampal synaptic plasticity in the early stage of Alzheimer's disease. *Neural regeneration research*, 14(6), 1037-1045. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.250625>
- Li, P. y Grant, A. (2016). Second language learning success revealed by brain networks. *Bilingualism: Language and Cognition*, 19(4), 657-664. <https://doi.org/10.1017/S1366728915000280>
- Lilienfeld, S. O., Lynn, S. J., Ruscio, J. y Beyerstein, B. L. (2011). 50 great myths of popular psychology: Shattering widespread misconceptions about human behavior: John Wiley y Sons. <http://www.worldcat.org/oclc/906177278>
- Lillard, A. S. y Erisir, A. (2011). Old dogs learning new tricks: Neuroplasticity beyond the juvenile period. *Developmental Review*, 31(4), 207-239. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2011.07.008>
- Liu, P., Chen, B., Mailler, R. y Wang, Z. W. (2017). Antidromic-rectifying gap junctions amplify chemical transmission at functionally mixed electrical-chemical synapses. *Nature Communications*, 8. <https://www.nature.com/articles/ncomms14818>
- Loewenstein, G., Rick, S. y Cohen, J. D. (2007). Neuroeconomics. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 647-672. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093710>
- Korte, M. y Goldmann, W. (2011). *Wie Kinder heute lernen – was die Wissenschaft über das kindliche Gehirn weiß.* Goldmann-Taschenbuch. <http://www.worldcat.org/oclc/958186536>
- Luria, A. R. (1980). The Problem of Localization of Functions in the Cerebral Cortex. En: A. R. Luria (Ed.), *Higher Cortical Functions in Man* (pp. 3-36). Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8579-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8579-4_1)
- Macdonald, K., Germine, L., Anderson, A., Christodoulou, J. y McGrath, L. M. (2017). Dispelling the Myth: Training in Education or Neuroscience Decreases but Does Not Eliminate Beliefs in Neuromyths. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01314>
- Maguire, E. A., Spiers, H. J., Good, C. D., Hartley, T., Frackowiak, R. S. y Burgess, N. (2003). Navigation expertise and the human hippocampus: a structural brain imaging analysis. *Hippocampus*, 13(2), 250-259. <https://doi.org/10.1002/hipo.10087>
- Martino, G., Pluchino, S., Bonfanti, L. y Schwartz, M. (2011). Brain regeneration in physiology and pathology: the immune signature driving therapeutic plasticity of neural stem cells. *Physiol Rev*, 91(4), 1281-1304. <https://doi.org/10.1152/physrev.00032.2010>
- Masterton, R. B. (2019). *Evolution, brain and behavior: Persistent problems.* Routledge. <http://www.worldcat.org/oclc/1082136363>

- Mavrelou, M. y Daradoumis, T. (2020). Exploring Multiple Intelligence Theory Prospects as a Vehicle for Discovering the Relationship of Neuroeducation with Imaginative/Waldorf Pedagogy: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*, 10(11), Article 334. <https://doi.org/10.3390/educsci10110334>
- Mehrbod, P., Ande, S., Shahrzad-Rahimizadeh, J., Shariati, A., Malek, H., Hashemi, M., Glover, K. Sher, A., Coombs, K. y Ghavami, S. (2019) The roles of apoptosis, autophagy and unfolded protein response in arbovirus, influenza virus, and HIV infections. *Virulence*, 10 (1), 376-413. <https://doi.org/10.1080/21505594.2019.1605803>
- McCaulley, M. H. (2000). Myers-Briggs Type Indicator: A Bridge Between Counseling and Consulting. *Consulting Psychology Journal*, 52(2), 117-132. <https://psycnet.apa.org/record/2000-02099-002>
- McCaulley, M. H. y Martin, C. R. (1995). Career Assessment and the Myers-Briggs Type Indicator. *Journal of Career Assessment*, 3(2), 219-239. <https://doi.org/10.1177%2F106907279500300208>
- McFarland, W. J. (1969). Are girls really smarter?. *The Elementary School Journal*, 70(1), 14-19. <https://bit.ly/3tSGkmp>
- Medina-Ibarra, A. (2018). Estilos de aprendizaje para el estudio. Universidad Autónoma de Aguascalientes. <https://www.uaa.mx/portal/wp-content/uploads/2018/02/26-1.pdf>
- Melvin, L. (2011). How to keep good teachers and principals: practical solutions to today's classroom problems: RyL Education. <http://www.worldcat.org/oclc/734072785>
- Mischel, W. y Moore, B. (1980). The role of ideation in voluntary delay for symbolically presented rewards. *Cognitive Therapy and Research*, 4(2), 211-221. <https://doi.org/10.1007/BF01173652>
- Mittal, L. N. (2021). Effective Learning: A Neurological/Mental Process. In K. A. Thomas, J. V. Kureethara y S. Bhattacharyya (Eds.), *Neuro-Systemic Applications in Learning* (pp. 137-162). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9_7)
- Mole, J. P., Subramanian, L., Bracht, T., Morris, H., Metzler-Baddeley, C. y Linden, D. E. J. (2016). Increased fractional anisotropy in the motor tracts of Parkinson's disease suggests compensatory neuroplasticity or selective neurodegeneration. *European Radiology*, 26(10), 3327-3335. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-4178-1>
- Monteiro-Junior, R. S., Vagheti, C. A. O., Nascimento, O. J. M., Laks, J. y Deslandes, A. C. (2016). Exergames: neuroplastic hypothesis about cognitive improvement and biological effects on physical function of institutionalized older persons. *Neural regeneration research*, 11(2), 201-204. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4810966/>
- Morandín-Ahuerma, F. (2017). Racionalidad práctica: Phronesis y sindéresis para una teoría de la decisión moral [Practical rationality: phronesis and sinderesis for a theory of moral decision]. *Stoa*, 8(16), 63-75. <http://stoa.uv.mx/index.php/Stoa/issue/view/256>
- Morandín-Ahuerma, F. (2021). Neuroética fundamental y teoría de las decisiones. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla. <https://bit.ly/3HO0R1u>

- Mowat, J. G. (2011). The development of intrapersonal intelligence in pupils experiencing social, emotional and behavioral difficulties. *Educational Psychology in Practice*, 27(3), 227-253. <https://doi.org/10.1080/02667363.2011.603531>
- Mundale, J. (1998). Brain mapping. In W. Bechtel y G. Graham (Eds.), *A Companion to Cognitive Science*. Malden, MA: Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781405164535.ch4>
- Munir, N., Ahmad, N., Hussain, S. y Ghani, U. (2018). Relationship of learning styles and academic performance of secondary school students. *Rawal Medical Journal*, 43(3), 421-424. <https://www.bibliomed.org/?mno=262701>
- Munkhdalai, T., Yuan, X., Mehri, S. y Trischler, A. (2018). Rapid Adaptation with Conditionally Shifted Neurons. Paper presented at the Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning, *Proceedings of Machine Learning Research*. <https://proceedings.mlr.press/v80/munkhdalai18a.html>
- Münste, T., Altenmüller, E. y Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature reviews. Neuroscience.*, 3(6), 473-478. <https://www.nature.com/articles/nrn843>
- Muxfeldt, A., Kluth, J. H. y Kubus, D. (2014) Kinesthetic teaching in assembly operations – a user study. En: Vol. 8810. *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 533-544). [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-11900-7\\_45](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-11900-7_45)
- Nabavi, A., McL. Black, P., Gering, D. T., Westin, C. F., Mehta, V., Pergolizzi Jr, R. S.,... Jolesz, F. A. (2001). Serial intraoperative magnetic resonance imaging of brain shift. *Neurosurgery*, 48(4), 787-798. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11322439/>
- Narli, S., Özgen, K. y Alkan, H. (2011). In the context of multiple intelligences theory, intelligent data analysis of learning styles was based on rough set theory. *Learning and Individual Differences*, 21(5), 613-618. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1041608011000896>
- Neta, M., Kelley, W. M. y Whalen, P. J. (2013). Neural responses to ambiguity involve domain-general and domain-specific emotion processing systems. *J Cogn Neurosci*, 25(4), 547-557. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00363](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00363)
- Newton, P. M. (2015). The Learning Styles Myth is Thriving in Higher Education. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2015.01908/full>
- Nicolete, P. C., Herpich, F., de Oliveira, E. T., Tarouco, L. M. R. y da Silva, J. B. (2021, Apr 21-23). Analysis of student motivation in the use of a Physics Augmented Remote Lab during the Covid-19 pandemic. *IEEE Global Engineering Education Conference. IEEE Global Engineering Education Conference: Viena, Austria*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9454104>
- Nowak, A., Vallacher, R. R., Zochowski, M. y Rychwalska, A. (2017). Functional Synchronization: The Emergence of Coordinated Activity in Human Systems. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2017.00945/full>
- Nowbakht, M. y Fazilatfar, A. M. (2019). The effects of working memory, intelligence and personality on English Learners' speaking ability. *Journal of Asia TEFL*, 16(3), 817-832. <http://dx.doi.org/10.18823/asiatefl.2019.16.3.4.817>

- O'Connor, J. A. y Lages, A. (2019). *Coaching the brain: practical applications of neuroscience to coaching* (1 Edition. ed.). London; New York: Routledge. <http://www.worldcat.org/oclc/1198286776>
- OCDE. (2018). *Understanding the Brain: the Birth of a Learning Science*. OECD/CERI. <https://www.oecd-ilibrary.org/search?option1=allFields&value1=9789264029125>
- Ortega-Esquembre, C. (2019). Moral Neuroeducation, Ethics of Justice and Pluralism. En: P. Calvo y J. Gracia-Calandín (Eds.), *Moral Neuroeducation for a Democratic and Pluralistic Society* (pp. 45-58). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22562-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22562-9_4)
- Ortíz, A. (2015). *Neuroeducación. ¿Cómo aprende el cerebro humano y cómo deberían enseñar los docentes?*. Bogotá: Ediciones de la U. <http://www.worldcat.org/oclc/953442505>
- Ortiz, M. (2009). Competencia matemática en niños en edad preescolar. *Psicogente*, 12(22). <http://revistas.unisimon.edu.co/index.php/psicogente/article/view/1173>
- Panakakis, S., Tsivoula, S. y Doukakis, S. (2021). An Application for Exploring Visual Perception: A Pilot Neuroeducational Study. En: P. Vlamos, *GeNeDis 2020*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78775-2\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78775-2_27)
- Parra-Luzuriaga, K., Robles-Bykbaev, Y., Robles-Bykbaev, V. y León-Gómez, P. (2021). An Interactive Guide Based on Learning Objects to Train Teachers on the Detection and Support of Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. En: S. Nazir, T. Z. Ahram y W. Karwowski, *Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences*. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-80000-0\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-80000-0_10)
- Peake, P. K. (2017). Delay of Gratification: Explorations of How and Why Children Wait and Its Linkages to Outcomes Over the Life Course. En: J. R. Stevens (Ed.), *Impulsivity: How Time and Risk Influence Decision Making* (pp. 7-60). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51721-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51721-6_2)
- Peng, Y. T., Chen, P., Ouyang, R. Y. y Song, L. (2015). Multifaceted role of prohibition in cell survival and apoptosis. *Apoptosis: an international journal on programmed cell death*, 20(9), 1135-1149. <https://doi.org/10.1007/s10495-015-1143-z>
- Pereda, A. E. (2014). Electrical synapses and their functional interactions with chemical synapses. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(4), 250-263. <https://doi.org/10.1038/nrn3708>
- Platón. (2007). *Obras completas*. Aguilar. <http://www.worldcat.org/oclc/630320814>
- Merchan, V. (2018). Capítulo VI: Neurodidáctica una revisión conceptual. En: Riaño Garzón, M. E., Torrado Rodríguez, J. L., Díaz Camargo, É. A., Vargas Martínez, D. E., Jiménez Jiménez, W. A., Durán Rodríguez, J. M.,... y Espinosa Castro, J. F. *Innovación psicológica: salud, educación y cultura*. <https://bit.ly/3OwMHUs>
- Prosperini, L. y Di Filippo, M. (2019). Beyond clinical changes: Rehabilitation-induced neuroplasticity in MS. *Multiple Sclerosis Journal*, 25(10), 1348-1362. <https://doi.org/10.1177/1352458519846096>

- Purves, D., Augustine, G., Fitzpatrick, D., Katz, L., LaMantia, A., McNamara, J. y Williams, S. (2001). Neuroglial cells. *Neuroscience*. Sunderland (MA): Sinauer Associates. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10799/>
- Quiñones-Hinojosa, A., Chaichana, K. y Mahato, D. (2020). *Brain mapping : indications and techniques*. New York: Thieme.
- Raisman, G. (1969). Neuronal plasticity in the septal nuclei of the adult rat. *Brain Research*, 14(1), 25-48. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(69\)90029-8](https://doi.org/10.1016/0006-8993(69)90029-8)
- Reiser, M., Büsch, D. y Munzert, J. (2011). Strength Gains by Motor Imagery with Different Ratios of Physical to Mental Practice. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00194>
- Reyes-Haro, D., Bulavina, L. y Pivneva, T. (2014). La glía, el pegamento de las ideas. *Revista Ciencia AMC*, (4), 12-18. [http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/Red\\_Glia.pdf](http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/Red_Glia.pdf)
- Rhee, K.-A., Kim, J.-K., Lee, B.-J., Kim, S. y Lee, Y.-I. (2013). Analysis of effects of activities while traveling on travelers' sentiment. *Transportation research record*, 2383(1), 27-34. <https://doi.org/10.3141/2383-04>
- Ribeiro, A. J., Yang, X., Patel, V., Madabushi, R. y Strauss, D. G. (2019). Liver microphysiological systems for predicting and evaluating drug effects. *Clinical Pharmacology y Therapeutics*, 106(1), 139-147. <https://doi.org/10.1002/cpt.1458>
- Richart, A. (2019). Moral Neuroeducation from a Phylogenetic, Ontogenetic and Functional Perspective. En: P. Calvo y J. Gracia-Calandín (Eds.), *Moral Neuroeducation for a Democratic and Pluralistic Society* (pp. 35-43). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22562-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22562-9_3)
- Roberts, M. (2010). Encounters with existential intelligence: Possibilities for today's effective educator. *International Journal of Interdisciplinary Social Sciences*, 5(7), 241-253. <https://doi.org/10.18848/1833-1882/CGP/v05i07/51794>
- Rodgers, D. L. y Hales, R. L. (2021). Brain-Based Learning. En: L. C. Johnston y L. Su (Eds.), *Comprehensive Healthcare Simulation: ECMO Simulation: A Theoretical and Practical Guide* (pp. 43-50). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53844-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53844-6_5)
- Rodrigues, A. C., Loureiro, M. A. y Caramelli, P. (2010). Musical training, neuroplasticity and cognition. *Dementia y neuropsychologia*, 4(4), 277-286. <https://doi.org/10.1590/s1980-57642010dn40400005>
- Rodríguez, J. C., Burgos, H. S. y Muñoz, E. F. (2018). Tipos psicológicos y estilos de aprendizaje de estudiantes de una facultad de ciencias económicas y administrativas en Chile. *Revista Academia y Negocios*, 4(1), 65-80. <https://www.redalyc.org/journal/5608/560863073006/html/>
- Rohrer, D. y Pashler, H. (2012). Learning styles: where's the evidence? *Med Educ*, 46(7), 634-635. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2012.04273.x>

- Rojas, G. y Galván, L. (2020). Arteterapia: una experiencia de implementación remedial voluntaria en universitarios. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(21). <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.687>
- Romau-Sanjurjo, D., Ledo-García, R., Fernández-López, B., Hanslik, K., Morgan, J. R., Barreiro-Iglesias, A. y Rodicio, M. C. (2018). GABA promotes survival and axonal regeneration in identifiable descending neurons after spinal cord injury in larval lampreys. *Cell death and disease*, 9(6), 1-15. <https://www.nature.com/articles/s41419-018-0704-9>
- Ruscello, D. M. y Vallino, L. D. (2020). The use of nonspeech oral motor exercises in the treatment of children with cleft palate: A re-examination of available evidence. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 29(4), 1811-1820. [https://doi.org/10.1044/2020\\_ajslp-20-00087](https://doi.org/10.1044/2020_ajslp-20-00087)
- Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibañez, V., Deiber, M.-P., Dold, G. y Hallett, M. (1996). Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature*, 380(6574), 526-528. <https://doi.org/10.1038/380526a0>
- Sadiku, M., Ashaolu, T. J. y Musa, S. (2020). Naturalistic Intelligence. *IJSCIA*, 1(1), 111-114. <http://dx.doi.org/10.51542/ijscia.v1i1.1>
- Saggino, A., Cooper, C. y Kline, P. (2001). A confirmatory factor analysis of the Myers-Briggs Type Indicator. *Personality and Individual Differences*, 30(1), 3-9. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(00\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00004-0)
- Saika, F., Kiguchi, N., Wakida, N., Kobayashi, D., Fukazawa, Y., Matsuzaki, S. y Kishioka, S. (2018). Upregulation of CCL7 and CCL2. Reward system mediated through dopamine D1 receptor signaling underlies methamphetamine-induced place preference in mice. *Neuroscience Letters*, 665, 33-37. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.11.042>
- Salles, A., Bjaalie, J. G., Evers, K., Farisco, M., Fothergill, B. T., Guerrero, M.,... Amunts, K. (2019). The Human Brain Project: Responsible Brain Research for the Benefit of Society. *Neuron*, 101(3), 380-384. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.01.005>
- Sasse, S., Neuert, H. y Klämbt, C. (2015). Differentiation of Drosophila glial cells. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology*, 4(6), 623-636. <https://doi.org/10.1002/wdev.198>
- Satralkar, M., Cherian, J. y Thomas, K. A. (2021). Applications of Neuroscience in Education Practices: A Research Review in Cognitive Neuroscience. En: K. A. Thomas, J. V. Kureethara y S. Bhattacharyya (Eds.), *Neuro-Systemic Applications in Learning* (pp. 117-135). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72400-9_6)
- Schmidt, K. E., Goebel, R., Löwel, S. y Singer, W. (1997). The perceptual grouping criterion of colinearity is reflected by anisotropies of connections in the primary visual cortex. *European Journal of Neuroscience*, 9(5), 1083-1089. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.1997.tb01459.x>
- Segura, M. Á. V. (2013). Miguel Ángel. El pintor de la Sixtina: Ediciones Rialp. <http://www.worldcat.org/oclc/846472672>

- Semprún de Villasmil, B. I., Ferrer Villasmil, K. J., Campos García, G. A., Urdaneta Bracho, J. S. y Ortiz Dueñas, X. F. (2020). Satisfacción estudiantil en un curso de Bioquímica: una evaluación luego de aplicar estrategias neurodidácticas. *Revista San Gregorio*, (38), 1-14. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rsan/n38/2528-7907-rsan-38-00001.pdf>
- Semrau, J. A., Wang, J. C., Herter, T. M., Scott, S. H. y Dukelow, S. P. (2015). Relationship between visuospatial neglect and kinesthetic deficits after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 29(4), 318-328. <https://doi.org/10.1177/1545968314545173>
- Serin, N. B., Serin, O., Yavuz, M. A. y Muhammedzade, B. (2009). The relationship between the primary teachers' teaching strategies and their strengths in multiple intelligences (Their multiple intelligence types) (Sampling: Izmir and Lefkosa). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 708-712. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2009.01.124>
- Shearer, C. B. (2020). Multiple Intelligences in Gifted and Talented Education: Lessons Learned From Neuroscience After 35 Years. *Roeper Review*, 42(1), 49-63. <https://doi.org/10.1080/02783193.2019.1690079>
- Shinoda, M., Fukuoka, T., Takeda, M., Iwata, K. y Noguchi, K. (2019). Spinal glial cell line-derived neurotrophic factor infusion reverses reduction of Kv4.1-mediated A-type potassium currents of injured myelinated primary afferent neurons in a neuropathic pain model. *Molecular Pain*, 15. <https://doi.org/10.1177/1744806919841196>
- Shokri-Kojori, E., Wang, G.-J., Wiers, C. E., Demiral, S. B., Guo, M., Kim, S. W.,... Volkow, N. D. (2018).  $\beta$ -Amyloid accumulation in the human brain after one night of sleep deprivation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(17), 4483-4488. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721694115>
- Shukr, I., Zainab, R. y Rana, M. H. (2013). Learning styles of postgraduate and undergraduate medical students. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*, 23(1), 25-30. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23286619/>
- Shyman, E. (2017). Please Wait, Processing: A Selective Literature Review of the Neurological Understanding of Emotional Processing in ASD and Its Potential Contribution to Neuroeducation. *Brain Sciences*, 7(11), Article 153. <https://doi.org/10.3390/brainsci7110153>
- Şimşek, Ö., Atman, N., Inceoğlu, M. M. y Arikan, Y. D. (2010) Diagnosis of learning styles based on active/reflective dimension of felder and Silverman's Learning Style Model in a learning management system. En: Vol. 6017 LNCS. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (pp. 544-555). [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-12165-4\\_43](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-12165-4_43)
- Sjøberg, S. (2015). PISA and Global Educational Governance – A Critique of the Project, its Uses and Implications. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(1), 111-127. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1310a>
- Skočajić, M. M., Radosavljević, J. G., Okičić, M. G., Janković, I. O. y Žeželj, I. L. (2020). Boys Just Don't! Gender Stereotyping and Sanctioning of Counter-Stereotypical Behavior in Preschoolers. *Sex Roles*, 82(3), 163-172. <https://doi.org/10.1007/s11199-019-01051-x>

- Slimani, M., Tod, D., Chaabene, H., Miarka, B. y Chamari, K. (2016). Effects of Mental Imagery on Muscular Strength in Healthy and Patient Participants: A Systematic Review. *Journal of sports science y medicine*, 15(3), 434-450. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4974856/>
- Sneddon, A. (2008). The depths and shallows of psychological externalism. *Philosophical Studies*, 138(3), 393-408. <https://doi.org/10.1007/s11098-006-9058-8>
- Sousouri, G. y Huber, R. (2019). Chapter 28 - Sleep and Plasticity. En: H. C. Dringenberg (Ed.), *Handbook of Behavioral Neuroscience* (Vol. 30, pp. 425-442): Elsevier.
- Spellman, W. M. (1997). Education into Humanity. In John Locke (pp. 79-97). Macmillan Education UK. [https://doi.org/10.1007/978-1-349-25392-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-349-25392-0_5)
- Spergel, D. J. (2019). Modulation of gonadotropin-releasing hormone neuron activity and secretion in mice by non-peptide neurotransmitters, gasotransmitters, and gliotransmitters. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 329. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fendo.2019.00329/full>
- Stein, M., Winkler, C., Kaiser, A. y Dierks, T. (2014). Structural brain changes related to bilingualism: does immersion make a difference? *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01116>
- Stein, R. y Swan, A. B. (2019). Evaluating the validity of Myers-Briggs Type Indicator theory: A teaching tool and window into intuitive psychology. *Social and Personality Psychology Compass*, 13(2). <https://doi.org/10.1111/spc3.12434>
- Stegemöller, E. (2014). Exploring a Neuroplasticity Model of Music Therapy. *Journal of Music Therapy*, 51(3), 211–227. <https://doi.org/10.1093/jmt/thu023>
- Sternberg, R. J. (2020). *The Cambridge handbook of intelligence*. Cambridge University Press. <http://www.worldcat.org/oclc/1100424907>
- Sternberg, R. J. (2021). Toward a theory of musical intelligence. *Psychology of Music*, 49(6), 1775-1785. <https://doi.org/10.1177/0305735620963765>
- Strauss, V. (2020). It's good to expose myths about neuroscience – but the debunking is getting out of hand, a world-famous psychologist says. *The Washington Post*. <https://wapo.st/3yjYW1>
- Sulaiman, T., Abdurahman, A. R. y Rahim, S. S. A. (2010). Teaching strategies based on multiple intelligences theory among science and mathematics secondary school teachers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.12.070>
- Sung, H. Y., Hwang, G. J., Hung, C. M. y Huang, I. W. (2012). Effect of learning styles on students' motivation and learning achievement in digital game-based learning. Paper presented at the Proceedings of the 2012 IIAI International Conference on Advanced Applied Informatics, IIAIAI 2012. <http://dx.doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2012.59>
- Tan, S.Y. y Yip, A. (2022). António Egas Moniz (1874-1955): Lobotomy pioneer and Nobel laureate. *Singapore medical journal*, (55)4, 175-176. <http://dx.doi.org/10.11622/smedj.2014048>

- Terada, Y. (2018). Multiple Intelligences Theory: Widely Used, Yet Misunderstood. George Lucas Educational Foundation. <https://www.edutopia.org/article/multiple-intelligences-theory-widely-used-yet-misunderstood>
- Thatcher, R. W. y John, E. R. (2021). Foundations of cognitive processes: Routledge. <http://www.worldcat.org/oclc/1227383471>
- Theodoridou, Z. D. y Triarhou, L. C. (2009). Fin-de-Siecle Advances in Neuroeducation: Henry Herbert Donaldson and Reuben Post Halleck. *Mind Brain and Education*, 3(2), 119-129. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01062.x>
- Thorne, B. M., Fyfe, J. H. y Carskadon, T. G. (1987). The Myers-Briggs Type Indicator and Coronary Heart Disease. *Journal of Personality Assessment*, 51(4), 545-554. [https://doi.org/10.1207/s15327752jpa5104\\_6](https://doi.org/10.1207/s15327752jpa5104_6)
- Tobacyk, J. J., Livingston, M. M. y Robbins, J. E. (2008). Relationships between Myers-Briggs type indicator measure of psychological type and NEO measure of big five personality factors in Polish university students: A preliminary cross-cultural comparison. *Psychological Reports*, 103(2), 588-590. <https://doi.org/10.2466%2Fpr0.103.2.588-590>
- Toda, T., Parylak, S. L., Linker, S. B. y Gage, F. H. (2019). The role of adult hippocampal neurogenesis in brain health and disease. *Molecular psychiatry*, 24(1), 67-87. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0036-2>
- Touche, R. L., Grande-Alonso, M., Cuenca-Martínez, F., González-Ferrero, L., Suso-Martí, L. y Paris-Aleman, A. (2019). Diminished kinesthetic and visual motor imagery ability in adults with chronic low back pain. *PM and R*, 11(3), 227-235. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.05.025>
- Treve, M. (2021). What COVID-19 has introduced into education: challenges Facing Higher Education Institutions (HEIs). *Higher Education Pedagogies*, 6(1), 212-227. <https://doi.org/10.1080/23752696.2021.1951616>
- Tse, K. H., Chow, K. B. S., Leung, W. K., Wong, Y. H. y Wise, H. (2014). Primary sensory neurons regulate Toll-like receptor-4-dependent activity of glial cells in dorsal root ganglia. *Neuroscience*, 279, 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.08.033>
- Uddin, L. Q., Supekar, K. S., Ryali, S. y Menon, V. (2011). Dynamic Reconfiguration of Structural and Functional Connectivity Across Core Neurocognitive Brain Networks with Development. *The Journal of Neuroscience*, 31(50), 18578-18589. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.4465-11.2011>
- Valtonen, J., Ahn, W. K. y Cimpian, A. (2021). Neurodualism: People Assume that the Brain Affects the Mind more than the Mind Affects the Brain. *Cognitive Science*, 45(9), Article e13034. <https://doi.org/10.1111/cogs.13034>
- Van der Ploeg, P. (2016). Multiple Intelligences and pseudo-science. [Draft]. [https://www.academia.edu/24174224/Multiple\\_Intelligences\\_and\\_pseudo\\_science](https://www.academia.edu/24174224/Multiple_Intelligences_and_pseudo_science)
- Van Mier, H. I., Schleepen, T. M. J. y Van den Berg, F. C. G. (2019). Gender Differences Regarding the Impact of Math Anxiety on Arithmetic Performance in Second and Fourth Graders. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02690>

- Van Ooyen, A. y Butz-Ostendorf, M. (2017). *The rewiring brain: a computational approach to structural plasticity in the adult brain*. London; San Diego, CA: Elsevier, Academic Press. <http://www.worldcat.org/oclc/1011616945>
- Vermeren, P. (2013). The unwanted popularity of typologies. *Gedrag en Organisatie*, 26(4), 405-430. <https://psycnet.apa.org/doi/10.5553/GenO/092150772013026004003>
- Vetter, P., Bola, L., Reich, L., Bennett, M., Muckli, L. y Amedi, A. (2021). Decoding sounds in early “visual” cortex of the congenitally blind. *Journal of Vision*, 21(9), 2584-2584. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.05.071>
- Viganò, C. y Magnotti, R. (2021). Visual Art Therapy in Psychiatry Rehabilitation. In *Arts Therapies in Psychiatric Rehabilitation* (pp. 3-19). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76208-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76208-7_1)
- Vitale, E. y Adam, S. (2022). Neurobiology of Loneliness, Isolation, and Loss: Integrating Human and Animal Perspectives. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnbeh.2022.846315>
- Volkow, N. D., Michaelides, M. y Baler, R. (2019). The Neuroscience of Drug Reward and Addiction. *Physiol Rev*, 99(4), 2115-2140. <https://doi.org/10.1152/physrev.00014.2018>
- Voss, P., Thomas, M. E., Cisneros-Franco, J. M. y de Villers-Sidani, É. (2017). Dynamic Brains and the Changing Rules of Neuroplasticity: Implications for Learning and Recovery. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01657>
- Verdugo, R., & Lorca, E. (2017). Neurofisiología de la empatía: una revisión de investigaciones. *Revista de Psiquiatría Clínica*, 55(1-2), 39-49. <https://revistas.uchile.cl/index.php/RPSC/article/view/65193>
- Voyer, D. y Voyer, S. D. (2014). Gender differences in scholastic achievement: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 140(4), 1174-1204. <https://doi.org/10.1037/a0036620>
- Wang, G., Grone, B., Colas, D., Appelbaum, L. y Mourrain, P. (2011). Synaptic plasticity in sleep: learning, homeostasis and disease. *Trends in Neurosciences*, 34(9), 452-463. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2011.07.005>
- Wang, J., Ni, Z., Jin, A., Yu, T. y Yu, H. (2019). Ocular Dominance Plasticity of Areas 17 and 21a in the Cat. *Frontiers in Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01039>
- Watson, R. R. (2017). *Physical activity and the aging brain: effects of exercise on neurological function*. London, United Kingdom; San Diego, CA: Academic Press, an imprint of Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128050941/physical-activity-and-the-aging-brain>
- Wei, H., Li, L., Jin, J., Wu, F., Yu, P., Ma, F. y Mao, L. (2020). Galvanic redox potentiometry based microelectrode array for synchronous ascorbate and single-unit recordings in rat brain. *Analytical Chemistry*, 92(14), 10177-10182. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c02225>

- Wenderoth, N. (2018). Motor Learning Triggers Neuroplastic Processes While Awake and During Sleep. *Exerc Sport Sci Rev*, 46(3), 152-159. <https://doi.org/10.1249/jes.0000000000000154>
- Weyandt, L. L., Willis, W. G., Swentosky, A., Wilson, K., Janusis, G. M., Chung, H. J.,... Marshall, S. (2014). A Review of the Use of Executive Function Tasks in Externalizing and Internalizing Disorders. En: S. Goldstein y J. A. Naglieri (Eds.), *Handbook of Executive Functioning* (pp. 69-87). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5_5)
- Wise, R. A. y Robble, M. A. (2020). Dopamine and Addiction. *Annual Review of Psychology*, 71(1), 79-106. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-psych-010418-103337>
- Woon, J. T. K., Perumal, V., Maigne, J. Y. y Stringer, M. D. (2013). CT morphology and morphometry of the normal adult coccyx. *European Spine Journal*, 22(4), 863-870. <https://doi.org/10.1007/s00586-012-2595-2>
- Yasuda, M., Nagappan-Chettiar, S., Johnson-Venkatesh, E. M. y Umemori, H. (2021). An activity-dependent determinant of synapse elimination in the mammalian brain. *Neuron*, 109(8), 1333-1349.e1336. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2021.03.006>
- Yin, F., Zhu, Y., Wang, Y. y Qin, J. (2018). Engineering Brain Organoids to Probe Impaired Neurogenesis Induced by Cadmium. *ACS Biomaterials Science y Engineering*, 4(5), 1908-1915. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.8b00160>
- Yousef, D. A. (2016). Learning styles preferences of statistics students: A study in the Faculty of Business and Economics at the UAE University. *Quality Assurance in Education*, 24(2), 227-243. <https://doi.org/10.1108/QAE-01-2014-0004>
- Zerilli, J. (2021). *The adaptable mind: what neuroplasticity and neural reuse tell us about language and cognition*. New York, NY: Oxford University Press. <http://www.worldcat.org/oclc/1244115489>
- Zhang, J. W. y Ieee. (2019, Aug 19-21). Teaching Strategy of Programming Course Guided by Neuroeducation. *International Conference on Computer Science & Education [14th international conference on computer science and education (iccse 2019)]*. 14th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE), Ontario Tech Univ, Toronto, Canadá.. <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2019.8845519>
- Zhang, L. F. (2002). Thinking styles and modes of thinking: Implications for education and research. *Journal of Psychology*, 136(3), 245-261. <https://doi.org/10.1080/00223980209604153>



## SOBRE EL AUTOR

**FABIO MORANDÍN-AHUERMA** es actualmente Investigador Nacional Nivel 1 por el SNI (CONACYT-México) y cuenta con perfil deseable Prodep. Es Doctor (*cum laude*) en Filosofía por el Instituto de Filosofía de la Universidad Veracruzana y tiene una Maestría por el Instituto “Matías Romero” de la Secretaría de Relaciones Exteriores, así como licenciatura en Filosofía por la Universidad Veracruzana. Realizó una estancia postdoctoral en el Centro de Investigaciones Filosóficas de Buenos Aires (CIF). Es Profesor-Investigador de tiempo completo de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en la licenciatura en Medicina General Comunitaria del Complejo Regional Nororiental y líder del Cuerpo Académico BUAP-CA-354 - Estudios Regionales Transdisciplinarios. Cuenta con publicaciones científicas y de divulgación en revistas indexadas y arbitradas nacionales y extranjeras. Ha sido Profesor Invitado en universidades como Universidad Americana de Puebla, Anáhuac de México y Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino en Argentina. Speaker en el Centro Ramsey de la Universidad de Oxford. Su más reciente libro es: «Neuroética Fundamental y Teoría de las Decisiones» (2021) editado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP).

Correo correspondiente: [fabio.morandin@correo.buap.mx](mailto:fabio.morandin@correo.buap.mx)

LA LLAMADA NEUROEDUCACIÓN NO ES MÁS QUE UN INTENTO POR PONER AL SERVICIO DE LA PEDAGOGÍA Y DE LA ANDRAGOGÍA LOS AVANCES DE LAS CIENCIAS DEL CEREBRO.

HASTA AHORA LOS ESFUERZOS BIOLOGICISTAS Y UBICACIONISTAS DE EXPLICAR EL GRAN TRABAJO ORQUESTAL EN EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL NO HAN TENIDO ÉXITO; SIN EMBARGO, LAS EXPLICACIONES HOLÍSTICAS QUE PRETENDEN SUPERAR EL EMERGENTISMO TAMPOCO HAN DEMOSTRADO QUE "EL EL TODO SEA ALGO MÁS ALLÁ DE SUS PARTES". POR TANTO, ¿SE DEBE DAR VUELTA AL BINOMIO APRENDIZAJE PARA EL CEREBRO Y TRATAR DE COMPRENDER PRIMERO EL CEREBRO PARA RESOLVER EL PROCESO DE APRENDIZAJE?