

AUTORES:

MSc. Katherin Hipatia Acurio Vizuet

MSc. Santiago Miguel Acurio Vizuet

MSc. Cecibel Amanda Acurio Vizuet

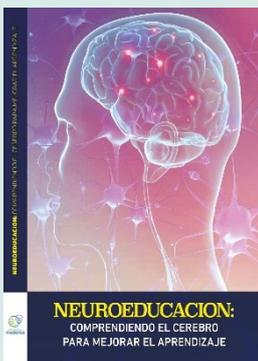
Lic. Rosa Guadalupe Vizuet Trávez

MSc. Evelyn Yadira Peñafiel Alcivar

ISBN:978-9942-7231-7-8 DOI: <https://doi.org/10.16921/Naciones.60>

NEUROEDUCACION:

**COMPRENDIENDO EL CEREBRO
PARA MEJORAR EL APRENDIZAJE**



DESCRIPTORES:

CLASIFICACIÓN THEMA: GTK - Estudios cognitivos

Tipo de Contenido: Libros universitarios

Materia: 371.39 - Otros medios de instrucción

Público objetivo: Profesional / académico

Idiomas: Español

No Radicación: 162015

AUTORES:

MSc. Katherin Hipatia Acurio Vizuet

Unidad Educativa Néstor Mogollón López.

<https://orcid.org/0000-0003-3222-1249>

MSc. Santiago Miguel Acurio Vizuet

Investigador Independiente

<https://orcid.org/0009-0000-3927-2183>

MSc. Cecibel Amanda Acurio Vizuet

Escuela 18 de Octubre.

<https://orcid.org/0000-0002-4286-6449>

Lic. Rosa Guadalupe Vizuet Trávez
Escuela de educación básica La Maná
<https://orcid.org/0009-0003-1473-4515>

MSc. Evelyn Yadira Peñafiel Alcivar
Colegio Técnico Experimental 18 de Mayo.
<https://orcid.org/0009-0000-1569-5800>

ISBN:978-9942-7231-7-8

DOI: <https://doi.org/10.16921/Naciones.60>

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

NEUROEDUCACIÓN

Nota del Editor

La neuroeducación estimula conexiones neuronales que permiten sentar las bases del aprendizaje, desarrollando más habilidades y competencias para la formación y el desarrollo académico y personal de los educandos, se fundamenta en la aplicación de conocimientos neurocientíficos al campo educativo. Este enfoque trata de entender cómo el cerebro humano aprende y procesa la información, lo que permite optimizar las técnicas de enseñanza para adaptarse a los procesos cognitivos naturales, mejorando la atención, la memoria y la capacidad de aprender, de esta manera los educadores pueden modelar experiencias de aprendizaje que mejoren significativamente la eficacia educativa, para esto se requiere que los maestros del siglo XXI desarrollen su inteligencia emocional y echen mano a estos conocimientos emergentes.

Neuroeducación: Comprendiendo el Cerebro para Mejorar el Aprendizaje

Índice de Contenido

Capítulo 1 Fundamentos de la Neuroeducación	6
Capítulo 3 Procesos Cognitivos y Aprendizaje.....	35
Capítulo 4: Estrategias Educativas Basadas en la Neurociencia	57
Capítulo 5 Aplicaciones y Futuro de la Neuroeducación	64
Capítulo 6: Consideraciones Neuroanatómicas	76
Referencias Bibliográficas	84

Capítulo 1 Fundamentos de la Neuroeducación

Definición y Origen

Las neurociencias, especialmente la neuroeducación, estudian los procesos de aprendizaje cerebral y su aplicación para mejorar la educación. Desde esta perspectiva, se descubre la influencia de la neurociencia en el aprendizaje. Según Salas (2003), los avances neurocientíficos impactan en el desempeño de los docentes y en los entornos educativos, abordando aspectos neuropsicosociales con modelos cerebrales aplicados al aprendizaje. Cosenza & Guerra (2011), señalan que tanto la neurociencia como la neuroeducación investigan cómo funciona el cerebro y cómo aprendemos. Durante este proceso, la neuroplasticidad cerebral permite optimizar las estructuras cerebrales. Mendoza et al. (2019) enfatizan la necesidad de docentes con inteligencia emocional y capacidad para implementar nuevas estrategias didácticas, adaptándose al enfoque científico de la neurociencia en la educación.

Los esfuerzos académicos por estrechar los lazos entre la neurociencia y la educación han resultado en la emergencia del campo de la neuroeducación. Este campo se centra en la aplicación de investigaciones neurocientíficas para mejorar las prácticas educativas basadas en evidencia empírica (Dekker et al., 2012). La neuroeducación aborda aspectos fundamentales como la plasticidad neuronal, las funciones ejecutivas, las modificaciones cerebrales, la homeostasis y el sistema emocional, integrando estas áreas con las ciencias sociales para reformular su aplicación en el contexto educativo (Cumpa, 2020; Dubinsky et al., 2019).

Investigaciones neuroeducativas indican que las prácticas docentes deben fortalecer habilidades cognitivas como la atención, autorregulación y memoria a través de métodos educativos significativos, evaluando cómo la estimulación neuroeducativa afecta el inicio, trayectoria y conclusión del aprendizaje (Yusmaliana et al., 2020). Varios estudios concluyen que aplicar principios neurocientíficos al proceso pedagógico contribuye al desarrollo de habilidades cognitivas en los estudiantes (Azeka et al., 2020; Muchiut et al., 2021; Prado, 2020). Estas investigaciones también ofrecen evidencia sobre el impacto de entornos de aprendizaje situados en el clima del aula, promoviendo perspectivas críticas tanto en estudiantes como en docentes sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje. Comprender la interrelación entre emoción y cognición permite a los educadores diseñar entornos educativos más significativos y productivos (Elouafi et al., 2021; Tapia & Arias, 2021).

En suma, la neuroeducación integra investigaciones interdisciplinarias de neurociencia cognitiva, psicología cognitiva y educación para cerrar la brecha entre la ciencia y las prácticas docentes. Este enfoque busca entender las conexiones entre el desarrollo cognitivo, social y emocional, facilitando así la implementación de estrategias educativas más efectivas y adaptativas (Ayvaz et al., 2017; Edelenbosch et al., 2015; Hermida et al., 2016; Martínez-González et al., 2018).

En este sentido, para Grospietsch y Mayer (2019), es irrefutable que el conocimiento que proporciona la neuroeducación sobre los procesos necesarios para lograr una enseñanza efectiva es fundamental para que los docentes empleen estrategias de enseñanza y aprendizaje que permitan a los estudiantes tener un mejor desempeño en las distintas áreas educativas. Así, tanto los principios cognitivos como afectivos de la neuroeducación, así como sus fundamentos biológicos y ambientales, contribuyen y son fundamentales para la construcción de un modelo educativo integral basada en evidencia (Malanchini et al., 2020).

Importancia y Objetivos

La mente, el cerebro y la educación, también conocida como Neurociencia Educativa, es un campo de investigación interdisciplinario que busca unir el conocimiento sobre los mecanismos neuronales del aprendizaje y desarrollo con el campo educativo (Tokuhama-Espinosa, 2011). Relacionada con la nueva ciencia del aprendizaje (OECD, 2007), la mente, el cerebro y la educación tiene como objetivo mejorar nuestra comprensión de cómo los factores ambientales afectan la estructura y función del cerebro, influyendo en las condiciones de aprendizaje. Además, esta disciplina se dedica a estudiar cómo la educación modifica el cerebro y cómo las intervenciones dirigidas a mejorar la función cerebral pueden impactar el aprendizaje (Ansari et al., 2017a).

Contrario a lo que se puede pensar, la investigación en mente, cerebro y educación, no tiene como único fin mejorar las prácticas y políticas educativas. Sin embargo, la traducción de estos conocimientos a la educación, conocida en este contexto como Neuroeducación, sigue siendo un objetivo significativo dentro de este campo. En general, tienen el propósito de promover el diálogo entre investigadores y profesionales de la neurociencia y la educación, fomentando asociaciones transdisciplinarias (Sigman et al., 2014). Estas colaboraciones tienen el potencial de mejorar los resultados educativos al combinar la experiencia práctica de los docentes con conocimientos científicos sobre atención, motivación, funciones ejecutivas, memoria y los efectos de factores como el sueño, la salud y el estrés en el aprendizaje.

Principios Básicos del Cerebro

El sistema nervioso es un sistema integrado que permite al ser humano ser consciente de su entorno, comprender, aprender y abstraer eficientemente. Las neuronas, como células funcionales del tejido nervioso, se interconectan formando redes que transmiten señales por zonas específicas, y las funciones complejas del sistema nervioso surgen de la interacción entre estas redes neuronales, y no de las características individuales de cada neurona (Amodio & Frith, 2006). El cerebro, descrito como el sistema más complejo del cuerpo humano, está compuesto por una red de células gliales, neuronas y vías nerviosas, y es la parte más importante del Sistema Nervioso Central. Aunque su estructura y funcionamiento son intrincados, se pueden identificar y clasificar sus principales partes (Araujo, 2021).

El cerebro es un órgano esencial del sistema nervioso central y es la mayor, y más conocida, parte del encéfalo. Está ubicado en la parte frontal y superior de la cavidad craneal. Como componente importante del encéfalo y del sistema nervioso central, el cerebro controla y regula la mayoría de las funciones corporales y mentales. Esto incluye desde funciones vitales como la respiración y el ritmo cardíaco hasta funciones superiores como el razonamiento, la memoria y el control de las emociones y la conducta (Escobar & Pimienta, 1998).

Las funciones del cerebro abarcan el control de funciones vitales como la temperatura corporal, la presión sanguínea, el ritmo cardíaco y la respiración; la recepción, procesamiento e interpretación de la información sensorial (vista, oído, gusto y olfato), también el control de movimientos y la postura, la regulación de emociones y comportamientos. Sin embargo, contempla también la capacidad de pensar, razonar y sentir, así como la gestión de funciones cognitivas superiores como la memoria, el aprendizaje y la percepción (Ayuso, 1999).

Neuroplasticidad y Aprendizaje

La neuroplasticidad es la habilidad del cerebro para reestructurar y alterar sus conexiones neuronales en respuesta a estímulos del entorno, experiencias, aprendizaje, lesiones y enfermedades. Este fenómeno incluye diversos mecanismos como la modificación en la fuerza y conectividad de las sinapsis, la formación de nuevas sinapsis, y cambios en la estructura y función de las neuronas, además de la generación de nuevas neuronas. Este proceso es esencial para el desarrollo y mantenimiento de la función cerebral, influyendo en el aprendizaje y la memoria, así como en la recuperación tras una lesión cerebral y en la adaptación a cambios en el entorno (Marzola et al., 2023).

A lo largo de la vida, la neuroplasticidad permite al cerebro modificar su estructura y función en respuesta a estímulos internos o externos. Mediante la reorganización de su estructura, función o conexiones, el cerebro puede adaptarse a diferentes experiencias y circunstancias, resultando en cambios fisiológicos y morfológicos. Este proceso dinámico es fundamental para el aprendizaje, la memoria y la recuperación de lesiones cerebrales (Bliss & Collingridge, 1993).

En comparación con otros primates, los humanos tenemos una infancia y adolescencia excepcionalmente largas. Este prolongado período de desarrollo se cree que facilita los procesos de aprendizaje necesarios para el crecimiento y la maduración del complejo cerebro humano. Durante las primeras dos décadas y media de la vida, el cerebro humano está en constante construcción, y los procesos de aprendizaje, guiados por la neuroplasticidad dependiente de la experiencia, moldean su configuración. La neuroplasticidad mediatiza tanto el aprendizaje formal como el informal, creando cambios estructurales y funcionales adaptativos en las redes cerebrales, y generando un conocimiento accesible y duradero (Goldberg, 2022).

La neuroplasticidad dependiente de la experiencia es particularmente activa durante los años escolares, lo que presenta una oportunidad educativa considerable. Para aprovechar este potencial,

las prácticas educativas deben estar alineadas con el funcionamiento natural del cerebro humano y aprovechar la neuroplasticidad. La neurociencia puede proporcionar información valiosa a los educadores sobre los mecanismos naturales de aprendizaje del cerebro, ayudando así a apoyar de manera más efectiva el proceso de aprendizaje de los estudiantes (Goldberg, 2022).

La investigación en neurociencia indica que la neuroplasticidad dependiente de la experiencia, que facilita los procesos de aprendizaje, se ve beneficiada por varios principios (Voss et al., 2017). Uno de los principales es que aprender una habilidad o nuevo conocimiento requiere la activación de vías neuronales relevantes. La investigación también destaca la importancia de la prominencia, la intensidad y la repetición de las habilidades y conocimientos aprendidos como estrategias efectivas para potenciar los cambios neuroplásticos. Los alumnos no pueden ser receptores pasivos de contenidos, sino que deben ser participantes activos en el proceso de aprendizaje (Carey, 2012; Cramer et al., 2011; Kleim & Jones, 2008).

Un entorno enriquecido para mejorar la neuroplasticidad ofrece integridad fisiológica, desafío cognitivo y seguridad emocional. Específicamente, un entorno enriquecido incluye sueño y nutrición adecuados, desafíos sensoriales-motores y cognitivos, oportunidades de exploración y novedad, y relaciones seguras que actúan como una red de seguridad, permitiendo a los estudiantes asumir desafíos. En contraste, la falta de estas condiciones puede ralentizar o disminuir el nivel de neuroplasticidad en el cerebro en desarrollo (Kolb & Gibb, 2011; Petrosini et al., 2009).

Enseñar a los estudiantes sobre la neuroplasticidad basada en la experiencia y los cambios dinámicos en las redes neuronales durante el aprendizaje ofrece una evidencia sólida de su capacidad innata y poderosa para aprender. Además, relacionar la neuroplasticidad con una mentalidad de crecimiento y desarrollo crea una base motivacional para los estudiantes, sugiriendo que su potencial de aprendizaje es dinámico y depende significativamente de sus actitudes y prácticas de aprendizaje. Las reglas de la neuroplasticidad, como *úsalo o piérdelo* y *úsalo para mejorarlo*, indican que, aunque los profesores deben apoyarlos y guiarlos, el aprendizaje es un proceso que ocurre por y dentro de los propios estudiantes, fomentando así la responsabilidad y el sentido de propiedad sobre su aprendizaje (Goldberg, 2022).

Aprovechar la neuroplasticidad y una mentalidad de crecimiento para motivar a los estudiantes es especialmente relevante para aquellos que son neurodivergentes, cuyo desarrollo cognitivo y estilos de aprendizaje difieren del rango típico. Aproximadamente el veinte por ciento de la población es neurodivergente, incluyendo estudiantes en el espectro autista, con problemas de aprendizaje como la dislexia, trastornos de atención como el trastorno de déficit de atención con hiperactividad, trastornos neurológicos como la epilepsia, y enfermedades mentales como el trastorno de estrés postraumático (Austin & Pisano, 2017).

Aunque la neurodiversidad y las variaciones en las expresiones neuronales y cognitivas tienen muchas ventajas, los estudiantes neurodivergentes enfrentan desafíos adicionales en sistemas escolares orientados a los neurotípicos. Aprender sobre la neuroplasticidad puede validar las experiencias de los estudiantes neurodivergentes, ya que la neurodiversidad es un resultado natural de la neuroplasticidad dependiente de la experiencia (Austin & Pisano, 2017; Voss et al., 2017). Además, al fomentar una mentalidad de crecimiento y una conciencia de la neuroplasticidad, estos estudiantes pueden sentirse motivados a participar en intervenciones basadas en evidencia. Por ejemplo, enseñar a los estudiantes con dislexia sobre los cambios cerebrales específicos asociados con las intervenciones de lectura puede motivarlos a perseverar a través del arduo trabajo antes de ver resultados visibles (Huber et al., 2018; Perdue et al., 2022; Romeo et al., 2018).

Historia y Evolución de la Neuroeducación

Las contribuciones de teóricos del aprendizaje como Piaget, Vygotsky, Bandura y Montessori han sido fundamentales para moldear la neuroeducación, alineándose con la lógica del contenido empleado. Estos teóricos, entre otros, sentaron las bases de las neurociencias modernas, resaltando la importancia del cerebro en el proceso de enseñanza y aprendizaje (González et al., 2023). Además, es necesario mencionar a autores como Wolfe (citado por Salas, 2003), señala que la neurociencia es un punto de partida esencial para los cambios necesarios en la educación. Aunque esta área de estudio es desconocida para muchos educadores, ahora es vital investigar el sistema nervioso central y explorar todas las posibilidades que ofrece el análisis de las acciones del cerebro y los aprendizajes que se adquieren a lo largo de la vida.

Vygotsky (1989) subraya la relevancia de la cultura y las funciones psicológicas superiores en la construcción de significados, considerando la filogénesis, la ontogénesis y el desarrollo cultural para el análisis del ser humano. Afirma que el surgimiento de la cultura provoca una transformación radical en la evolución humana, y establece que primero ocurre un proceso interpsicológico seguido de un proceso intrapsicológico. Además, Vygotsky (1931) sostiene que la acción humana está mediada por herramientas y el lenguaje. El desarrollo cognitivo no se produce simplemente por la acción en sí, sino por cómo las herramientas y los signos disponibles facilitan dicha actividad.

Jean (Piaget, 1978) describe en la epistemología de la matemática un mecanismo cognitivo en tres fases (intra-inter-trans) que guían el progreso del conocimiento desde el análisis específico hasta la generalización de propiedades para amplios conjuntos de objetos. Según Piaget (1937), la función semiótica, que surge a los dos años, permite evocar significados ausentes mediante significantes diferenciados y facilita la transición de conductas sensorio-motrices a representativas, incluyendo imitación, juego simbólico y lenguaje. Esta función se divide en símbolos, que guardan semejanza con sus significados, y signos, que son arbitrarios (Piaget & Inhelder, 1997).

Bandura sostiene que la imitación es un elemento claro para el aprendizaje, particularmente cuando existen modelos sociales que pueden acelerar el proceso de adquisición (Bandura & McDonald, 1963). Este autor afirma que el aprendizaje por observación se produce incluso si el observador no imita inmediatamente las respuestas del modelo ni recibe refuerzo (Bandura & Walters, 1974).

Uno de los principales objetivos de la educación es influir en la conducta de los niños en desarrollo para ayudarlos a adaptarse con éxito a su entorno social y cultural. Dado que la base biológica de toda conducta humana es el sistema nervioso, podemos concluir que la educación también busca modificar el funcionamiento del cerebro. Por lo tanto, ambas disciplinas están legítima e íntimamente interrelacionadas. En este sentido, la neuroeducación pretende integrar el estudio del desarrollo neurocognitivo en las ciencias de la educación, partiendo de la idea de que conocer cómo aprende y funciona el cerebro puede mejorar la práctica pedagógica y las experiencias de aprendizaje (Ranz-Alagarda & Giménez-Beut, 2019). Por consiguiente, la clave está en educar teniendo el cerebro en mente (Jensen, 2010).

Avances Recientes y Estudios Relevantes

En las últimas dos décadas, ha aumentado el interés en los hallazgos de las investigaciones sobre el cerebro, especialmente en relación con el aprendizaje, la cognición humana y el comportamiento. Los avances en los métodos de investigación han mejorado nuestra comprensión de cómo aprendemos, pensamos, razonamos y sentimos desde la perspectiva del funcionamiento del cerebro humano. Asimismo, los investigadores también han avanzado en el conocimiento sobre la maduración del cerebro y su relación con los cambios en el desarrollo de la cognición, el funcionamiento emocional y el comportamiento (Mayer, 2017).

La relevancia de estos hallazgos para la educación se refleja en nuevos libros (Blakemore, 2018; Dehaene, 2020; Steinberg, 2019; Tokuhamas-Espinosa, 2014) y en conferencias como *Learning and the Brain en Estados Unidos*. También, se evidencia en el creciente interés en Neuroeducación y en la creación de revistas como *Mind, Brain and Education y Trends in Neuroscience and Education*. Estas publicaciones ayudan a fomentar la interacción entre la neurociencia, las ciencias cognitivas y del comportamiento, y el campo de la educación (Ansari et al., 2017a; Thomas et al., 2019).

La neuroimagen ha sido un avance importante para la neuroeducación, y los neuropsicólogos escolares utilizan estos informes de neuroimagen para planificar evaluaciones, redactar informes y ayudar a las familias a entender el impacto de las condiciones médicas en la educación. Su conocimiento en neuroanatomía y funciones cerebrales les permite traducir estos resultados en cambios positivos. Por ejemplo, pueden explicar a padres y profesores cómo una lesión en los ganglios basales afecta el movimiento, control del comportamiento y funciones ejecutivas, y adaptar la evaluación en consecuencia. También pueden identificar patrones que justifiquen una derivación a

un neurólogo. Por tanto, una comprensión básica del lenguaje técnico de los neurorradiólogos y las técnicas de neuroimagen mejora el proceso de evaluación y selección de intervenciones en el ámbito escolar (Miller et al., 2022).

La neurociencia cognitiva ha identificado múltiples sistemas neuronales para representar números, incluyendo el *sentido numérico*, que se encuentra en animales y humanos y se localiza en las áreas intraparietales del cerebro. Este sistema se activa en tareas de comparación numérica y organiza el conocimiento sobre cantidades. Además, otro tipo de conocimiento numérico se almacena en el sistema del lenguaje, sugiriendo que el aprendizaje matemático combina conteo y conocimiento lingüístico. Las técnicas de neuroimagen permiten explorar la discalculia en niños y entender cómo las dificultades matemáticas en disléxicos pueden estar vinculadas con el sistema verbal de conteo y cálculo (Cherrier et al., 2020; Cohen et al., 2019; Espada, 2019; Gessaga, 2016; Goswami, 2004).

La actividad matemática se concentra en los lóbulos frontal y parietal del cerebro, especialmente en el surco intraparietal y la región parietal inferior, que controla el pensamiento matemático y la capacidad visual-espacial. Las tareas matemáticas complejas requieren la interacción de varios lóbulos cerebrales y habilidades verbales, espaciales, conceptuales, aritméticas y de razonamiento. Esto sugiere que la enseñanza de las matemáticas debe enfocarse en la comprensión y análisis, más allá de la simple memorización. Fomentar estrategias como el conteo con los dedos en la educación temprana es esencial para el desarrollo cerebral y la adquisición de habilidades numéricas (De Aparicio, 2009; Fernández, 2010; Hardiman et al., 2011; Zacharoula, 2016).

Por otra parte, a pesar de las percepciones positivas de científicos y padres sobre los beneficios de la enseñanza basada en el cerebro, la literatura revisada revela una implementación relativamente baja de la neurociencia en los procesos educativos, lo que señala desafíos en varios niveles. Uno de los principales problemas es el escaso conocimiento y conciencia de los educadores sobre la investigación neurocientífica. Los educadores muestran mayor interés en la aplicabilidad y eficacia de la neuroeducación en la enseñanza. Además, existe la creencia común entre la población no científica de que la neuroeducación se promueve para desmentir neuromitos y falsas afirmaciones, como el uso de solo un pequeño porcentaje del cerebro y los prejuicios de género (Bhargava & Ramadas, 2022).

Thomas et al. (2019) han señalado que la ciencia detrás del aprendizaje cerebral es un proceso complejo e interactivo, pero la sociedad tiende a enfocarse más en el aprendizaje en el aula cuando se trata de educación, lo que genera poca claridad. Además, traducir el aprendizaje basado en el cerebro a la práctica educativa, el diseño curricular y las estrategias de enseñanza puede ser complicado tanto para investigadores como para educadores. No obstante, académicos e investigadores han asegurado la credibilidad y eficacia de un plan de estudios que incorpora la neuroeducación.

Capítulo 2 Desarrollo Cerebral y Aprendizaje

Etapas del Desarrollo Cerebral

Desarrollo Prenatal y Primeros Años

El período fetal es importante para el desarrollo del cerebro humano pues su evolución puede ser influenciada por el entorno. Durante esta fase y el primer año de vida, el cerebro crece rápidamente, alcanza en el recién nacido aproximadamente el 36% del volumen cerebral de un adulto (Pulli et al., 2019). El desarrollo cerebral fetal se divide en tres etapas: el período embrionario que va desde la concepción hasta la octava semana de gestación, el período fetal temprano que va hasta la mitad de la gestación, y el período fetal tardío que abarca desde la mitad de la gestación hasta el nacimiento (Monk et al., 2019). En estas etapas, el cerebro en desarrollo contiene miles de millones de neuronas, la mayoría de las cuales se producen a mitad de la gestación. A lo largo del período fetal, el cerebro se forma a través de la producción, migración, conexión y diferenciación de neuronas (Lautarescu et al., 2020).

Al final del período fetal temprano, aproximadamente a las 20 semanas, el cerebro ya presenta las estructuras necesarias para un funcionamiento maduro, aunque con una placa cortical aún lisa. La migración neuronal alcanza su punto máximo entre las semanas 12 y 20 de gestación, mientras que la mielinización, que mejora la velocidad y precisión de la comunicación neuronal, comienza entre las semanas 20 y 28. Durante el período fetal tardío, en la segunda mitad de la gestación, se especializan diversas regiones del cerebro y se forman vías conectivas y sinapsis. Hacia la semana 34, se generan aproximadamente 40.000 nuevas sinapsis por segundo, un proceso que continúa en la vida posnatal temprana (Pulli et al., 2019).

El proceso de desarrollo cerebral es un proceso fascinante y complejo, que comienza en etapas muy tempranas, incluso antes de que muchas madres se den cuenta de que están embarazadas. Apenas tres semanas después de la concepción, comienzan a formarse mecanismos celulares que crearán una estructura cerebral que se perfeccionará durante muchos años después del nacimiento. Procesos como la inducción de células nerviosas, la proliferación celular, la migración, la diferenciación, la agregación, las ramificaciones, la sinaptogénesis, la mielinización y la muerte celular, aunque inicien en el vientre materno, establecerán las bases para el aprendizaje, el pensamiento, la percepción, los movimientos, la memoria y otras funciones cerebrales importantes (Campos, 2010).

Durante la etapa prenatal, no solo ocurre un cambio significativo en la madre, sino que también se producen numerosas transformaciones en el cerebro del bebé, preparándolo para los meses siguientes. El papel de la madre es importante: su dieta, las exposiciones a las que está sometida, sus emociones, el nivel de estrés y la abstinencia de alcohol, entre otros factores, influyen determinadamente en el desarrollo cerebral del bebé (Campos, 2010).

Al llegar el momento del nacimiento, el sistema nervioso, especialmente las áreas subcorticales como la médula espinal y el tronco encefálico, permite que el recién nacido no solo sobreviva, sino que también se adapte a su nuevo entorno, gracias a una programación genética que empieza a formar las conexiones cerebrales de forma autónoma. Esta etapa es crítica ya que la oxigenación adecuada del cerebro y un parto saludable marcarán el desarrollo cerebral, entendiendo el nacimiento como una continuación, no como un final. A pesar de tener solo una cuarta parte del peso que alcanzará en su totalidad, el cerebro del recién nacido está preparado para aprender y adaptarse al mundo fuera del útero (Campos, 2010).

La maduración gradual del cerebro es el resultado de una interacción entre factores genéticos y ambientales: un cerebro dotado de estructuras predispuestas para aprender, sumado a las influencias del entorno y las experiencias, permite una construcción y refinamiento continuo del aprendizaje. Aunque el cerebro sigue aprendiendo a lo largo de toda la vida, es en la primera infancia cuando se establecen, a nivel neurológico, las bases para el aprendizaje futuro (Campos, 2010).

Al nacer, el cerebro humano pesa entre 300 y 350 gramos y sigue creciendo rápidamente hasta alcanzar el peso adulto, que varía de 1250 a 1500 gramos. La corteza cerebral, también conocida como materia gris, es una capa de neuronas con un grosor de unos 2.5 centímetros que recubre la superficie externa del cerebro. Esta corteza se divide en seis capas distintas, cada una con un tipo específico de células neuronales y sus conexiones respectivas hacia y desde otras células (Ostrosky, 2015).

El desarrollo más crítico del cerebro humano ocurre desde la etapa prenatal hasta los cinco años de edad. Durante este período, el aprendizaje y la estimulación del entorno son fundamentales para la formación y el fortalecimiento de las conexiones neuronales. Las experiencias vividas determinan cuáles conexiones se mantendrán y cuáles se eliminarán, lo que puede provocar cambios importantes en el comportamiento. Una falta de estimulación adecuada en esta fase temprana puede tener un impacto negativo en el desarrollo posterior, afectando tanto las capacidades cognitivas como las físicas (Ostrosky, 2015).

El desarrollo cerebral es esencial en la formación de los niños durante la primera infancia. Según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, este proceso ayuda a los niños a obtener habilidades fundamentales en el ámbito psicosocial, cognitivo y lingüístico, esenciales para desarrollar y fortalecer su pensamiento, resolver problemas, comunicarse y expresar sus emociones. Estas habilidades sientan las bases para una vida adulta saludable, con buen aprendizaje y bienestar. En esta etapa, se identifican tres fases de desarrollo: prenatal, nacimiento y escolar (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2018; UNICEF, 2017).

El periodo prenatal que abarca desde la concepción hasta el nacimiento, se caracteriza porque la salud y la nutrición de la madre son vitales. En la fase del nacimiento, que incluye desde el

alumbramiento hasta los tres años, cobra especial interés la nutrición, la protección y la estimulación positiva mediante el juego, la lectura y el canto. En la edad preescolar, desde los tres años hasta el inicio escolar, tiene importancia, igualmente, la salud, la nutrición, la protección, pero se integra también el aprendizaje temprano en el hogar y centros preescolares (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2018; UNICEF, 2017).

La importancia de los primeros años de vida en el desarrollo infantil es significativa y la evaluación periódica de las áreas de desarrollo como la cognición, la motricidad, el lenguaje y la conducta social son vitales para la detección temprana de riesgos. Estos riesgos pueden ser influenciados por condiciones biológicas o ambientales y afectar más a los niños con bajo peso al nacer o que tienen malnutrición, entre otros. Durante los primeros 1000 días de vida, que abarcan desde la concepción hasta los 24 meses, el cerebro se desarrolla rápidamente y la nutrición, la protección y la estimulación positiva pueden tener un impacto considerable en este proceso (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2018).

La primera infancia es una etapa caracterizada por un rápido desarrollo en términos cognitivos y conductuales, con cambios significativos en la atención, la memoria de trabajo, la lectura, las matemáticas y la autorregulación (Breckenridge et al., 2013; Burnett Heyes et al., 2012; Ferretti et al., 2008; Garon-Carrier et al., 2018; Montroy et al., 2016). Se piensa que el progreso en estas habilidades esenciales está vinculado al crecimiento de la materia blanca en el cerebro. Sin embargo, los detalles sobre las trayectorias de desarrollo de la materia blanca y los fundamentos biológicos de estos cambios aún no están completamente claros (Bathelt et al., 2018; Jolles et al., 2016; Klarborg et al., 2013; Qiu et al., 2008; Van Eimeren et al., 2008).

Durante los primeros seis años de vida, se produce el 90% del desarrollo cerebral y se establecen las bases para el neurodesarrollo a lo largo de la vida. Desde su aparición en 1988, el campo del neurodesarrollo infantil y de la primera infancia ha avanzado solo marginalmente. Aún persiste una brecha en el conocimiento sobre los aspectos y trayectorias del neurodesarrollo temprano, debido a la falta de procedimientos de evaluación estandarizados para bebés y niños pequeños, así como a las controversias sobre la conveniencia de posponer estas evaluaciones hasta que los niños comiencen la escuela (Bondi et al., 2024).

Adolescencia y Madurez Cerebral

La adolescencia comienza con la pubertad y se extiende hasta que los individuos asumen un rol independiente en la sociedad. En las últimas dos décadas, la investigación en neurociencia cognitiva ha avanzado nuestra comprensión del desarrollo cerebral durante la adolescencia. La evidencia sugiere que existe una maduración prolongada tanto de los tractos de materia gris como de materia blanca, que son esenciales para funciones cognitivas superiores como el control cognitivo y la cognición social. Estos cambios están relacionados con un mayor fortalecimiento y diferenciación

de las redes cerebrales, tanto en su estructura como en su función, y con una mejora en las habilidades cognitivas. Se piensa que la reactividad subcortical específica de los adolescentes hacia las emociones y recompensas, en contraste con el desarrollo de sus habilidades de autocontrol, es lo que contribuye a su mayor sensibilidad al entorno socioafectivo (Dumontheil, 2016).

Al inicio de la pubertad, el cerebro experimenta cambios significativos que resultan en una mejora gradual del funcionamiento cognitivo y socioemocional (Blakemore, 2018; Caballero et al., 2016; Juraska & Willing, 2017). Uno de los cambios más evidentes es el desarrollo de las áreas relacionadas con el funcionamiento ejecutivo, tales como el control cognitivo, la toma de decisiones, la inhibición y la memoria de trabajo. Estos avances son producto de una reorganización estructural en la corteza prefrontal y del fortalecimiento de las conexiones entre esta área y otras regiones del cerebro (Caballero et al., 2016; Juraska & Willing, 2017).

Un aumento en la conectividad entre el hipocampo, una estructura clave para la memoria, y la corteza prefrontal contribuye a una mayor flexibilidad cognitiva, lo que mejora la capacidad de los adolescentes para aplicar el aprendizaje previo a nuevas situaciones (Murty et al., 2016). Esta mejora da capacidad, junto con la inclinación de los adolescentes por buscar experiencias novedosas, favorece el aprendizaje a través de la exploración, que se acumula con el tiempo y facilita la toma de decisiones (Romer et al., 2017).

Aunque las áreas del cerebro responsables del control cognitivo maduran gradualmente durante la adolescencia, las regiones relacionadas con las emociones son especialmente vulnerables al inicio de la pubertad (van Duijenvoorde et al., 2016). Este proceso revela un desequilibrio entre el rápido y temprano desarrollo de los sistemas emocionales y el desarrollo más tardío y lento de los sistemas cognitivos (Blakemore, 2018; van Duijenvoorde et al., 2016).

En los adolescentes jóvenes, los cambios hormonales y sociales, combinados con una mayor actividad en las áreas cerebrales vinculadas a las emociones y la recompensa, pueden dificultar la gestión emocional (Guyer et al., 2018; Tottenham & Galván, 2016). No obstante, a medida que las conexiones entre la corteza prefrontal y el sistema límbico se fortalecen, se observa una mejora en la regulación emocional y en el comportamiento autodirigido de los adolescentes (Caballero et al., 2016; Guyer et al., 2018; Tottenham & Galván, 2016).

El cerebro adolescente aún está en desarrollo, lo que puede hacer que los adolescentes respondan al estrés de manera distinta a los adultos, esto aumenta el riesgo de desarrollar trastornos mentales relacionados con el estrés, como la ansiedad y la depresión. Identificar los posibles desencadenantes del estrés y aplicar técnicas de afrontamiento adecuadas puede ayudar a los adolescentes a manejar mejor estas situaciones (US Department of Health and Human Services, 2023).

Además, la investigación indica que la melatonina, la hormona del sueño, se comporta de manera diferente en los adolescentes comparado con niños y adultos, se mantiene alta por más tiempo durante la noche y disminuye por la mañana. Esto puede explicar por qué los adolescentes suelen quedarse despiertos hasta tarde y tienen dificultades para levantarse temprano, lo que a su vez afecta su capacidad para concentrarse, controlar impulsos y rendir académicamente (US Department of Health and Human Services, 2023).

Los cambios continuos en el cerebro, junto con las transformaciones físicas, emocionales y sociales durante la adolescencia, pueden hacer a los adolescentes más vulnerables a problemas de salud mental. Este cúmulo de cambios simultáneos podría ser una de las razones por las cuales muchas enfermedades mentales, como la esquizofrenia, la ansiedad, la depresión, el trastorno bipolar y los trastornos alimentarios, emergen en esta etapa. Sin embargo, el cerebro adolescente también muestra una notable capacidad para adaptarse y responder a nuevas experiencias. Participar en actividades desafiantes, como clases académicas, ejercicio físico y actividades creativas como el arte o la música, puede fortalecer los circuitos cerebrales y apoyar su desarrollo (US Department of Health and Human Services, 2023).

La adolescencia es una etapa de notable desarrollo cerebral, que solo es superada por la infancia en términos de extensión y profundidad del cambio (Jernigan et al., 2011). Investigaciones iniciales en neuroimagen revelaron que el volumen de materia gris cortical sigue una trayectoria en forma de U invertida a lo largo de las dos primeras décadas de vida. Estas investigaciones mostraron que diferentes regiones del cerebro alcanzan picos de materia gris en distintos momentos durante la adolescencia y que las mujeres tienden a madurar antes que los hombres (Giedd et al., 1999; Lenroot et al., 2007). Sin embargo, algunos estudios han identificado picos más tempranos en la última infancia (Aubert-Broche et al., 2013; Wierenga et al., 2014), y otros han observado trayectorias de desarrollo distintas, como lineales o en forma de U (Tamnes et al., 2013).

La investigación sobre el grosor cortical también ha producido resultados mixtos. La mayoría de los estudios han mostrado un adelgazamiento generalizado de la corteza durante la infancia y la adolescencia, con reducciones lineales a lo largo del desarrollo (Raznahan et al., 2011a; Tamnes et al., 2010; Wierenga et al., 2014). Sin embargo, algunos estudios han encontrado engrosamiento en áreas específicas, como las relacionadas con el lenguaje (Sowell et al., 2007) y en el lóbulo temporal (Raznahan, Lerch, et al., 2011b), mientras que otros no han observado cambios en estas áreas o en el lóbulo temporal.

Durante la adolescencia, el cerebro experimenta transformaciones rápidas tanto a nivel microestructural como macroestructural, en un proceso que es dinámico y altamente adaptable. Los avances en neuroimagen han permitido a los científicos del desarrollo realizar importantes progresos, ya que la imagenología en vivo ha facilitado la visualización y la interpretación de los cambios

organizacionales en el cerebro que son fundamentales para entender el desarrollo socioemocional y neurocognitivo (Bandettinni, 2012). En particular, la neuroimagen estructural y funcional ha proporcionado una comprensión de los cambios cerebrales asociados con el desarrollo y la edad (Giedd, 2008).

La neuroimagen también permite investigar cómo las influencias genéticas y ambientales se relacionan con las estructuras cerebrales y cómo estos factores afectan los resultados conductuales típicos y atípicos durante la adolescencia. Esta tecnología es útil para desentrañar las relaciones entre los sustratos neuronales, el entorno y los resultados funcionales. Permite también abordar temas como la toma de decisiones, las conductas de riesgo, la resiliencia y el control emocional. A pesar de los avances tecnológicos que han transformado el estudio del desarrollo cerebral adolescente, es esencial tener en cuenta las consideraciones metodológicas en las diversas modalidades de neuroimagen para realizar interpretaciones informadas y precisas (Morris et al., 2018).

Factores que Influyen en el Desarrollo del Cerebro

Genética y Ambiente

El desarrollo cerebral en los seres humanos está regulado por un control genético preciso en términos de espacio y tiempo, aunque los mecanismos subyacentes siguen siendo en gran medida difíciles de comprender. Recientemente, la combinación de avances tecnológicos en modelado basado en células madre humanas y edición del genoma ha emergido como una herramienta poderosa para establecer conexiones causales entre genotipos y fenotipos directamente en sistemas humanos. Se destaca el uso de cultivos en 2D derivados de células madre humanas y organoides cerebrales en 3D para investigar características enriquecidas y mecanismos de enfermedades en humanos (Zhou et al., 2024).

El desarrollo del cerebro humano ha sido objeto de extensos estudios mediante neuroimagen. Sin embargo, aún se conoce poco acerca de cómo los genes afectan las trayectorias del desarrollo cerebral, a pesar de que alrededor de 10.000 genes, lo que representa aproximadamente un tercio del genoma humano, se expresan predominantemente en el cerebro y durante su desarrollo. Es interesante notar que muchos de estos genes no solo muestran una expresión diferencial entre diferentes tejidos, sino que también varían en su expresión a lo largo de las etapas de la vida, como se observa en la pleiotropía antagónica. Esta variación en la expresión genética a lo largo de la vida es vital para varios eventos clave en el desarrollo cerebral, como la migración neuronal, la sinaptogénesis, la especificidad de los receptores de neurotransmisores y está relacionada con el envejecimiento y trastornos neurodegenerativos, como la enfermedad de Alzheimer o la esclerosis lateral amiotrófica. Además, muchos trastornos psiquiátricos y mentales son poligénicos y suelen comenzar en la infancia o la adolescencia (Douet et al., 2014).

La epigenética se enfoca en cómo la expresión genética puede ser alterada por diversos factores, como la metilación del ADN, las modificaciones de las histonas, los microARN y los ARN largos no codificantes, típicamente en respuesta a exposiciones ambientales. Estas modificaciones en la expresión genética pueden perdurar a lo largo de la vida e incluso ser heredadas (Weaver et al., 2004). La metilación de histonas y ADN, fenómenos epigenéticos que cambian desde la infancia hasta la adultez, sugiere que los patrones epigenéticos pueden influir en el desarrollo cerebral. No obstante, hasta ahora solo un estudio ha investigado la metilación global de citosina del ADN a lo largo del ciclo vital en humanos, encontrando que los niveles de metilación del ADN aumentan en los genes con expresión reducida del ARNm desde las 17 semanas de gestación hasta los 104 años (Siegmund et al., 2007).

Además, los estudios emergentes sobre las interacciones entre la metilación del ADN, el ambiente y la edad muestran que los efectos epigenéticos pueden influir en procesos como la programación fetal, donde eventos ocurridos durante la gestación pueden tener efectos duraderos en la vida. También se ha sugerido que alteraciones epigenéticas estables en el cerebro podrían estar relacionadas con algunos trastornos psiquiátricos (Feinberg, 2007; Gardner, 2007; Simmons, 2009), lo que apoya la hipótesis de que muchas enfermedades adultas con bases epigenéticas pueden tener sus orígenes en el periodo fetal (Bezek et al., 2008; Doherty et al., 2009).

La genética de las imágenes proporciona información significativa sobre cómo los genes influyen en los fenotipos de las imágenes estructurales y funcionales (Gao et al., 2019; Strike et al., 2015; Thompson et al., 2020). No obstante, hasta hace poco, la investigación se ha centrado mayormente en el cerebro de adolescentes y adultos (Chen et al., 2015; Fatemi & Folsom, 2009). Esta es una limitación importante pues el desarrollo más dinámico del cerebro humano ocurre desde la vida embrionaria hasta la primera infancia (Douet et al., 2014). Las alteraciones en la expresión genética durante este periodo pueden causar cambios permanentes en la forma y función del cerebro. Incluso las variaciones genéticas comunes pueden afectar los primeros procesos del desarrollo neurológico, lo que aumenta el riesgo de desarrollar trastornos psiquiátricos en el futuro (Patel et al., 2022).

Estos efectos pueden detectarse desde las primeras etapas de la vida a través de la neuroimagen, lo que permite identificar poblaciones en riesgo durante la infancia. Esto abre oportunidades para la prevención primaria y el desarrollo de intervenciones que puedan corregir trayectorias adversas en etapas tempranas del desarrollo clínico (Ann et al., 2023).

Las investigaciones con gemelos han revelado que muchos fenotipos cerebrales son hereditarios desde la primera infancia. Los factores genéticos explican aproximadamente el 85% de la variabilidad en el volumen global de materia blanca y el 56% en el volumen global de materia gris durante el primer mes de vida, aunque la heredabilidad del tamaño de la cabeza es insignificante

(Gilmore et al., 2010; Smit et al., 2010). En contraste, en niños mayores y adultos, las heredabilidades para estos tres fenotipos superan el 80% (Brouwer et al., 2012; Gilmore et al., 2018; Jansen et al., 2015). La heredabilidad del área de superficie cortical es alta en la primera infancia (78%), mientras que la del grosor cortical es más baja (29%), con una considerable superposición genética entre ambos (Jha et al., 2018). La superficie y el espesor de la corteza cerebral son dos propiedades anatómicas clave. Estudios con gemelos indican que ambas características son altamente hereditarias. Un estudio en adultos confirmó que tanto la superficie cortical como el grosor cortical tienen una alta herencia (Chen et al., 2013; Panizzon et al., 2009; Winkler et al., 2010).

La microestructura de la materia blanca tiene una heredabilidad moderada en las primeras etapas de la vida, con entre el 30% y el 60% de la variabilidad en la anisotropía fraccional media atribuida a la variación genética (Geng et al., 2012; Lee et al., 2015). En adultos, las estimaciones de heredabilidad para anisotropía fraccional varían entre el 72% y el 88% (Vuoksima et al., 2017). Una única medida latente de la microestructura de la sustancia blanca explica una gran variabilidad heredable en recién nacidos (50%) (Zhang et al., 2021). Además, las diferencias individuales en superficie cortical y grosor cortical regionales parecen estar impulsadas por un conjunto común de factores genéticos (Jha et al., 2018).

En cuanto a los fenotipos de resonancia magnética funcional en estado de reposo, se han observado efectos genéticos modestos en los primeros dos años de vida, con ciertas redes y han mostrado mayor heredabilidad a diferentes edades (Fu et al., 2015; W. Gao et al., 2014; Glahn et al., 2010; Xu et al., 2017). La transmisión intergeneracional de fenotipos de imágenes probablemente refleja una combinación de efectos genéticos, epigenéticos y ambientales (Ahtam et al., 2021; Fehlbauer et al., 2022; Takagi et al., 2021).

Las funciones mentales, incluyendo casi todos los aspectos del comportamiento humano, como el aprendizaje, surgen de la actividad cerebral. Las conexiones neuronales que soportan estas funciones se desarrollan a lo largo de la vida y permiten el aprendizaje continuo de nuevos conceptos y habilidades. La formación y funcionamiento del cerebro, junto con la plasticidad neuronal, están influenciados tanto por la actividad de diversos genes como por modificaciones epigenéticas que ayudan a regular la expresión genética en respuesta a las condiciones ambientales (Bueno, 2019).

El cerebro se desarrolla durante la etapa embrionaria y fetal bajo la guía de ciertos programas genéticos (Brown et al., 2001). Sin embargo, sigue construyendo y modificando su conectoma, o red de conexiones neuronales, a lo largo de toda la vida gracias a su capacidad de crear nuevas conexiones. Este proceso de plasticidad neuronal es importante para el aprendizaje. Las funciones cognitivas, como la memoria de trabajo, el control cognitivo, la atención, la inteligencia y las funciones ejecutivas, se desarrollan mediante la actividad cerebral, que depende de la conectividad neuronal. La formación y el funcionamiento del cerebro y sus neuronas están influenciados por

programas genéticos, lo que indica que los genes afectan las funciones cognitivas necesarias para el aprendizaje (Bueno, 2019).

El genoma humano contiene alrededor de 20,300 genes (Salzberg, 2018) que pueden tener variantes genéticas o alelos. Estas variantes afectan las funciones biológicas y los rasgos físicos y psicológicos, incluidas las funciones cognitivas. Por ejemplo, Davies et al. (2018) identificaron 148 nuevos genes relacionados con funciones cognitivas generales, mientras que Zwir et al. (2018) encontraron 736 genes asociados con el temperamento. La heredabilidad es mayor en la edad adulta que en la infancia, posiblemente debido a que las personas seleccionan entornos que reflejan sus predisposiciones genéticas a medida que envejecen (Martin et al., 1986). El efecto Wilson sugiere que los individuos eligen ambientes que coinciden con sus predisposiciones genéticas al crecer. Estudios longitudinales muestran que las tasas de cambio cerebral son hereditarias y más altas en adultos (Brouwer et al., 2017), aunque aún no se han incluido bebés ni niños pequeños en estos estudios.

Por otra parte, en cuanto al ambiente en el desarrollo cerebral, una de las primeras preguntas en neurociencia ha sido cómo las experiencias y factores ambientales influyen en este desarrollo. Según Turkheimer (2000), el desarrollo es fundamentalmente no lineal, interactivo y difícil de controlar experimentalmente. Sin embargo, en las últimas dos décadas, se ha avanzado enormemente en las mediciones cerebrales, las pruebas cognitivas y el tamaño de las muestras (Klingberg et al., 2022).

El nivel socioeconómico es uno de los factores ambientales más estudiados en el desarrollo cognitivo. Este índice combina diversos factores que pueden influir en la cognición de un niño, como la educación de los padres, los ingresos familiares y el entorno del vecindario. Los niños de padres con un nivel socioeconómico bajo suelen tener un desarrollo inferior en múltiples áreas, con menores capacidades cognitivas, peores resultados académicos y una mayor incidencia de trastornos mentales (Klingberg et al., 2022).

Estudios de resonancia magnética funcional muestran que el nivel socioeconómico afecta áreas cerebrales relacionadas con el razonamiento, las funciones ejecutivas, el lenguaje y la memoria a largo plazo, incluye además regiones frontales, parietales, el hipocampo y el lóbulo temporal medial. Además, el nivel socioeconómico puede influir en la macroestructura cerebral, como el área de superficie cortical. Un estudio con 1,099 personas de entre tres y 20 años encontró que el área de superficie cortical total estaba relacionada con los ingresos y el nivel educativo de los padres, especialmente en regiones que apoyan el lenguaje, la lectura, las funciones ejecutivas y las habilidades espaciales. Otros estudios han respaldado estos hallazgos, aunque algunos destacan la corteza frontal como un objetivo particular del nivel socioeconómico, mientras que otros no identifican una región específica (Klingberg et al., 2022).

Las experiencias durante el desarrollo temprano ejercen una influencia considerable en la función cerebral, lo que genera diferencias individuales que pueden contribuir a problemas conductuales y aumentar el riesgo de enfermedades crónicas a lo largo de la vida. Las interacciones entre genes y ambiente son responsables de gran parte de estas variaciones, principalmente a través de alteraciones en la estructura del ADN y la función de la cromatina, que afectan el hecho de cómo se activan los genes. Estos cambios epigenéticos, como la metilación del ADN, pueden moldear el desarrollo del cerebro y actuar como una *memoria molecular* del entorno temprano de cada individuo (Meaney, 2010).

En bebés recién nacidos, aproximadamente el 75% de las variaciones en las regiones del metiloma, que muestran diferentes niveles de metilación del ADN, se deben a la interacción entre el genotipo del individuo y diversos factores del entorno intrauterino. Estos factores incluyen el tabaquismo de la madre, su estado de ánimo, su índice de masa corporal, así como el peso y la edad gestacional del bebé (Teh et al., 2014).

El crecimiento fetal deficiente, que indica un entorno intrauterino adverso, se ha asociado con retrasos en el desarrollo y un mayor riesgo de trastornos de salud mental. Las influencias maternas, placentarias y genéticas son determinantes clave del crecimiento fetal. Por ejemplo, investigaciones han mostrado que el bajo peso al nacer está vinculado con dificultades como falta de atención y problemas sociales en la niñez, y puede llevar a una reducción del volumen cerebral durante la infancia y adolescencia y afectar el funcionamiento cognitivo general (de Kieviet et al., 2012; Mathewson et al., 2017).

En la última década, los avances en la neurociencia del desarrollo han mejorado nuestra comprensión sobre cómo las experiencias ambientales afectan el desarrollo cognitivo y emocional. La evidencia recopilada de estudios en animales y humanos (Bick & Nelson, 2016; Farah, 2017; Hackman et al., 2010; Hanson et al., 2013; McEwen & Akil, 2020; Pizzagalli, 2014) indica que los cambios en el desarrollo del cerebro son adaptaciones a condiciones ambientales estresantes. Estos cambios tienen implicaciones significativas para la psicopatología (Hyde et al., 2020), comportamientos de riesgo para la salud (Duffy et al., 2018) y políticas públicas relacionadas con la pobreza (Farah, 2018). Sin embargo, la medición del estrés ambiental, como las adversidades en la infancia, ha generado debates sobre si las amplias categorizaciones de los factores estresantes ambientales por parte de los investigadores se correlacionan adecuadamente con los mecanismos neuronales (Smith & Pollak, 2020).

Las evaluaciones a lo largo del tiempo del desarrollo cerebral, ya sean mediante pruebas neuropsicológicas o neuroimagen, ofrecen información sobre las trayectorias normales que permiten evaluar cómo podrían ser afectadas por entornos físicos o sociales adversos. La resonancia magnética multimodal es una técnica no invasiva que proporciona detalles precisos sobre la estructura y función

del cerebro (Paus, 2013). Por ejemplo, investigaciones recientes utilizando resonancia magnética multimodal han encontrado una relación entre la exposición prenatal a contaminantes del aire, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, y el desarrollo de la sustancia blanca, así como con la cognición y el comportamiento cerebral (Peterson et al., 2015). De manera similar, estudios con pruebas neuropsicológicas computarizadas realizadas en intervalos repetidos han mostrado una conexión entre la contaminación del aire y el desempeño cognitivo en niños en edad escolar (Sunyer et al., 2015).

La exposición a adversidades durante los primeros años de vida se relaciona con cambios en el tamaño, estructura y conexiones de áreas cerebrales específicas como la amígdala y el hipocampo, esto puede impactar tanto en resultados socioemocionales en la niñez como en el riesgo posterior de trastornos mentales. Sin embargo, la interpretación de estudios de resonancia magnética estructural a menudo se ve complicada por la presencia de trastornos psiquiátricos comórbidos, lo que dificulta determinar si los cambios cerebrales son atribuibles únicamente a la adversidad temprana, a las condiciones psiquiátricas asociadas, o a una interacción entre ambos factores (De Bellis et al., 2001; Weniger et al., 2008).

En los últimos años, avances en herramientas y grandes volúmenes de datos han mejorado nuestra capacidad para entender mejor las conexiones entre la adversidad temprana y las alteraciones en el desarrollo y función cerebral. Esto facilita una mejor adaptación de hallazgos de modelos animales a humanos, especialmente mediante enfoques genéticos innovadores. Las modificaciones epigenéticas han surgido como un mecanismo clave para explicar estas asociaciones, aunque persisten desafíos relacionados con la naturaleza transversal de muchos estudios epigenéticos y la especificidad tisular de los cambios observados (Barker et al., 2018; Jones et al., 2018).

Nutrición y salud

La malnutrición, que engloba tanto la sobrenutrición como la desnutrición, representa un desequilibrio crítico entre las necesidades nutricionales de una persona y su consumo real de alimentos. La desnutrición llega a ser un problema global que impacta en el desarrollo infantil y se manifiesta como demaciación, retraso en el crecimiento o deficiencias de micronutrientes, con efectos adversos a largo plazo en la salud (De Onis et al., 1993; World Health Organization, 2005; World Health Organization, 2022; World Health Organization, 2024).

Los nutrientes esenciales como hierro, zinc, colina, yodo, folato, vitamina B12 y ácidos grasos poliinsaturados juegan roles fundamentales en la estructura y función cerebral. La deficiencia de hierro durante la infancia no solo puede afectar la inteligencia y el desarrollo cognitivo, sino que también está asociada con problemas neurológicos a largo plazo, incluida la anemia por deficiencia de hierro (Golub et al., 1995; Monk. et al., 2013; Muñoz & Humeres, 2012; Todorich et al., 2009; Youdim & Yehuda, 2000). Del mismo modo, la falta de zinc se relaciona con retrasos en el desarrollo

motor, déficits de atención y memoria, y efectos adversos en la salud cerebral en general (Golub et al., 1995). Otros nutrientes como la colina, el yodo, el folato, la vitamina B12 y los ácidos grasos poliinsaturados son igualmente importantes para la estructura neuronal y el mantenimiento de una función cognitiva óptima (Bourre, 2004; Clandinin et al., 2005; Dror & Allen, 2008; Kapil, 2007; Strain et al., 2013).

El cerebro necesita crecer y desarrollarse, y para que esto ocurra, una adecuada nutrición es esencial. Los nutrientes desempeñan un papel necesario en la regulación del desarrollo cerebral desde la vida fetal hasta los primeros años de vida postnatal. Durante el período crítico entre las 24 y 44 semanas después de la concepción, ocurren procesos neurales clave como la formación de sinapsis y la mielinización, reflejando un rápido aumento en la complejidad cerebral y la interacción sináptica de las neuronas corticales. Para estos procesos son necesarios nutrientes específicos como proteínas, hierro, zinc, selenio, yodo, folato (vitamina B9), vitamina A, colina y ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga. La desnutrición tiene un impacto severo en el desarrollo cerebral, tanto prenatal como durante los primeros años después del nacimiento (Yambayamba & Phiri, 2020).

El cerebro en desarrollo entre las 24 y 44 semanas después de la concepción es especialmente vulnerable a la desnutrición, que puede afectar la sinaptogénesis y la mielinización. La falta de estos procesos nutricionales puede tener repercusiones en las funciones cognitivas y sociales de un individuo. Aquellos que experimentan desnutrición severa durante los primeros años de vida pueden mostrar déficits conductuales y cognitivos persistentes desde la infancia hasta la edad adulta. Por lo tanto, la desnutrición en niños menores de cinco años no solo compromete su calidad de vida individual, sino que también puede afectar la calidad de vida de las generaciones futuras en la sociedad en su conjunto (Yambayamba & Phiri, 2020).

Los nutrientes tienen un papel clave en el desarrollo cognitivo infantil, algunos de sus beneficios, según Cohen et al. (2021) son los siguientes:

- ✓ El zinc es esencial para el desarrollo del sistema nervioso central, participa en la neurogénesis, migración neuronal, sinaptogénesis y neurotransmisión GABA-érgica en modelos animales (Colombo et al., 2014; Zheng et al., 2019). La deficiencia de zinc durante el embarazo y la infancia se asocia con déficits en aprendizaje, atención, memoria y estado de ánimo (Cusick & Georgieff, 2016).
- ✓ La evidencia sobre la suplementación materna con zinc y el desarrollo cognitivo infantil es inconclusa, sin hallazgos consistentes en mejorar el desarrollo cognitivo (Caulfield et al., 2010; Colombo et al., 2014). Estudios de bebés de seis meses sugieren mejoras selectivas en el procesamiento de la información y la atención activa con suplementos de zinc (Colombo et al., 2014).

- ✓ Revisiones sistemáticas han mostrado resultados mixtos sobre el impacto de la suplementación de zinc en el desarrollo mental y motor infantil (Gogia & Sachdev, 2012). Algunos estudios sugieren que los efectos pueden depender de la dosis y la duración de la intervención (Nissensohn et al., 2013).
- ✓ El yodo juega un papel muy útil en el desarrollo cerebral, influencia en la diferenciación neuronal y en la producción de mielina prenatalmente y afecta la función cognitiva infantil a largo plazo (Modesto et al., 2015; Robinson et al., 2018). La deficiencia grave de yodo durante el embarazo se asocia con hipotiroidismo congénito y déficits cognitivos severos en la descendencia (Pearce et al., 2016).
- ✓ Las vitaminas A, B12, D y folato son fundamentales para el desarrollo cognitivo temprano, pero la evidencia de la suplementación durante el embarazo en la mejora directa de la función cognitiva infantil es limitada y variable (González & Visentin, 2016; Lai et al., 2021; Lima et al., 2013). La calidad de las proteínas dietéticas también es necesaria pues los aminoácidos esenciales contribuyen al desarrollo cerebral y conductual de los bebés (Chavez et al., 1975; Pollitt et al., 1993).

La desnutrición infantil tiene efectos devastadores en el desarrollo físico y cognitivo y son en gran parte irreparables. Los niños desnutridos presentan una amplia gama de déficits cognitivos lo que afecta el desarrollo cerebral, el rendimiento educativo y la productividad económica en etapas posteriores. La maduración de áreas cerebrales específicas durante la infancia, necesarias para funciones cognitivas como el lenguaje y la memoria, es especialmente vulnerable a la desnutrición, ya que la densidad sináptica y la mielinización persisten hasta la adolescencia (Kar et al., 2008; Leroy et al., 2014; Toga et al., 2006; UNICEF, 2020).

El desarrollo cerebral está influenciado por el entorno, uno de los aspectos a notar es la nutrición. Existe un vínculo entre una buena nutrición y una función cerebral óptima, con la suplementación nutricional se desempeña un papel importante en la proliferación celular y en el metabolismo de los neurotransmisores. Durante la infancia, el cerebro crece más rápidamente que el resto del cuerpo, lo que lo hace más susceptible a los déficits nutricionales. Esto resalta la importancia de una nutrición adecuada en los primeros años de vida para el desarrollo cognitivo y físico (Benton, 2010; Bhatnagar & Taneja, 2011; De-Souza et al., 2011; Zeisel, 2009; Zimmermann, 2011).

La nutrición es un factor clave en el desarrollo cognitivo, sobre todo en la primera infancia que es un período especialmente vulnerable debido al rápido crecimiento cerebral. Los niños con desnutrición presentan mayores tasas de mortalidad y morbilidad, y el deterioro cognitivo en la edad preescolar predice el rendimiento escolar futuro. La educación mejora el capital humano lo que puede determinar la salud y el bienestar a largo plazo, y un desarrollo motor y cognitivo deficiente puede

afectar la productividad en la edad adulta (Clark et al., 2010; Engle, 2010; Florence et al., 2008; Olofin et al., 2013; Victoria et al., 2008).

Los estudios indican que los niños en estado de desnutrición muestran habilidades motoras, conductas adaptativas, lenguaje y desarrollo de habilidades sociales deficientes. La desnutrición está asociada con déficits de memoria, coordinación visomotora y habilidades sociales, así como con una disminución de las puntuaciones de coeficiente intelectual, correlacionada con la gravedad de la desnutrición. Estas deficiencias tienen implicaciones a largo plazo que afecta el rendimiento educativo y la productividad económica en la vida adulta (Kar et al., 2008).

Ventanas de Oportunidad y Períodos Críticos

Concepto de Plasticidad Cerebral

La neuroplasticidad es la capacidad del cerebro para modificar y adaptarse en respuesta a las experiencias. Este término abarca la habilidad del cerebro para alterar, reorganizar o desarrollar sus redes neuronales. Estos cambios pueden ser funcionales, como los que ocurren tras una lesión cerebral, o estructurales, resultantes del aprendizaje (Cherry & Lakhan, 2024).

El concepto de plasticidad se refiere a la capacidad del cerebro para cambiar y adaptarse, y no a la idea de que el cerebro sea físicamente plástico. *Neuro* hace referencia a las neuronas, que son las células nerviosas fundamentales del cerebro y el sistema nervioso. En este sentido, la neuroplasticidad facilita que las neuronas se modifiquen o ajusten en respuesta a diferentes estímulos (Cherry & Lakhan, 2024).

La comprensión de la plasticidad todavía presenta lagunas, especialmente en relación a si constituye una extensión de la *inmadurez* y cómo se manifiesta. Sin embargo, algunas ideas fundamentales están bien establecidas. Primero, la mayoría de las formas de plasticidad conservan características *embrionarias* o *inmaduras*, algunas de ellas persisten durante las edades postnatales (Berg et al., 2019; Bonfanti & Peretto, 2011; Gómez-Climent et al., 2011; Peretto et al., 2005; Theodosis et al., 1991; Tramontin et al., 2003; Urbán & Guillemot, 2014). Segundo, tanto la plasticidad como la inmadurez tienden a disminuir gradualmente con la edad (Lipp & Bonfanti, 2016; Snyder, 2019).

Tercero, los cambios plásticos varían según la región cerebral, lo que implica una maduración *diferencial* entre regiones y poblaciones celulares. Cuarto, los cambios estructurales abarcan una amplia gama de *tipos y escalas* que abarcan modificaciones microscópicas que afectan pequeñas porciones de células preexistentes (neuronas, glía; por ejemplo, plasticidad sináptica) y cambios más macroscópicos que varían en función del número de células (neurogénesis adulta, gliogénesis). Por último, los cambios plásticos muestran variaciones notables entre las especies de mamíferos, dependiendo de sus cronogramas de desarrollo (Charvet et al., 2011, 2017; Charvet & Finlay, 2018; Clancy et al., 2001; Finlay, 1995; La Rosa et al., 2020; Paredes et al., 2016a; Workman et al., 2013).

Los primeros años de vida son importantes para el desarrollo cerebral, con un crecimiento acelerado en la cantidad de conexiones neuronales. Al nacer, cada neurona en la corteza cerebral cuenta con aproximadamente 2,500 sinapsis, pero a los tres años este número aumenta a unas 15,000 sinapsis por neurona (Barker et al., 2018).

En la adultez, el promedio de sinapsis por neurona disminuye a aproximadamente la mitad de esa cantidad debido a la poda sináptica. Este proceso implica que, a medida que adquirimos nuevas experiencias, algunas conexiones neuronales se fortalecen mientras que otras se eliminan. Las neuronas más utilizadas desarrollan conexiones más robustas, mientras que las menos activas eventualmente mueren. Este ajuste permite al cerebro adaptarse mejor a un entorno en constante cambio (Bonfanti & Charvet, 2021).

Los procesos plásticos en el cerebro son extremadamente variados, por ello se identifican al menos tres formas principales de plasticidad estructural. La primera es la plasticidad sináptica, que implica la modificación de las conexiones entre neuronas mediante la formación y eliminación de sinapsis (Citri & Malenka, 2008; Holtmaat & Svoboda, 2009). Esta plasticidad afecta las conexiones entre neuronas ya existentes, actuando como una forma de inmadurez que persiste en las etapas finales del desarrollo neuronal. Este fenómeno ocurre dentro de una red neuronal que, en general, ya está bastante estructurada y *madura*.

La segunda forma es la neurogénesis adulta, que se refiere a la generación de nuevas neuronas en el cerebro postnatal a partir de células madre (Aimone et al., 2014; Bao & Song, 2018; Lim & Alvarez-Buylla, 2016; Obernier et al., 2014). Este proceso extiende la neurogénesis embrionaria a través de la división de células madre que se mantienen en un nicho de células madre, un entorno que puede ser considerado *inmaduro* o *similar al embrionario* (Potten & Loeffler, 1990). La neurogénesis en el cerebro adulto depende de la actividad continua de células madre dentro de estos nichos específicos, que son fundamentales para su funcionamiento (Bonfanti & Peretto, 2011; Feliciano et al., 2015).

La tercera forma de plasticidad se refiere a una población de neuronas *inmaduras* (ins), que se generan durante el desarrollo prenatal y continúan mostrando características de inmadurez durante la adultez en la corteza cerebral (Bonfanti & Nacher, 2012; König et al., 2016). Estas neuronas, conocidas como *no recién generadas, inmaduras* (nng-ins), representan una forma de *neurogénesis sin división* (Benedetti et al., 2020; Bonfanti & Nacher, 2012; Gómez-Climet et al., 2008; Kempermann, 2020; König et al., 2016; Rotheneichner et al., 2018).

Las nng-ins podrían ofrecer una nueva perspectiva sobre la plasticidad al mantener una población de neuronas jóvenes e indiferenciadas en regiones que no tienen células madre ni nichos y proporcionar elementos de inmadurez en una red neuronal que de otro modo ya estaría madura (La Rosa & Bonfanti, 2021). Estas células, que persisten a lo largo de la vida, aunque en menor número

(La Rosa et al., 2020; Rotheneichner et al., 2018) podrían ser vistas como una variante de los períodos críticos que permanecen abiertos durante un tiempo prolongado.

Se sabe que las alteraciones en la maduración y plasticidad cerebral están estrechamente relacionadas con la aparición de trastornos neurológicos (De Berardis et al., 2021; Gao et al., 2021; Kaufmann et al., 2019; Morton et al., 2017; Schor & Bianchi, 2021; Selemon & Zecevic, 2015). En particular, la esquizofrenia y los trastornos del espectro psicótico se asocian con una cronología afectada en la maduración cerebral (Fatemi & Folsom, 2009; Tamnes, 2017). Aunque los mecanismos específicos detrás de estos trastornos aún no están completamente claros, la neuroimagen está comenzando a proporcionar información relevante.

Por ejemplo, se ha observado que el cableado anómalo de las áreas prefrontales, influido por señales genéticas o ambientales, impacta el desarrollo cerebral y contribuye al deterioro cognitivo en trastornos psiquiátricos (De Berardis et al., 2021; Selemon & Zecevic, 2015). En la esquizofrenia, la disfunción en los circuitos locales de la corteza prefrontal y su conectividad de largo alcance se relaciona con alteraciones en la maduración y conectividad (Gao et al., 2021).

Los cambios plásticos inducidos por el estilo de vida en cerebros jóvenes e inmaduros son útiles para enfrentar el deterioro cognitivo asociado con la edad, tanto normal como patológico (Gelfo et al., 2018; O'Leary et al., 2019). Esto probablemente ocurre mediante la formación y uso de lo que se denomina *reserva cerebral* (Kempermann, 2008; McQuail et al., 2021; Walhovd et al., 2014; Zolochovska & Tagliatela, 2016). Está claro que adoptar hábitos de vida saludables puede promover mejoras en la cognición, como la angiogénesis, sinaptogénesis y neurogénesis (Lindenberger, 2014). Recientemente, se ha propuesto que los períodos críticos en los que la experiencia guía a las redes neuronales hacia configuraciones específicas que no pueden ser reemplazadas por otras conexiones, difieren de los períodos sensibles. La experiencia puede dar lugar a múltiples configuraciones de red que son susceptibles de remodelación (Dehorter & Del Pino, 2020).

Los avances en la manipulación del desarrollo en cerebros inmaduros de modelos animales están sentando las bases para futuras intervenciones en trastornos del neurodesarrollo, como la discapacidad intelectual, los trastornos del espectro autista y la esquizofrenia. Sin embargo, aunque se reconoce la importancia de las neurotrofinas, semaforinas y déficits de GABA en estos procesos, aún se sabe poco sobre los sustratos moleculares que regulan la relación entre plasticidad, maduración y trastornos neurológicos. Dado que la sensibilidad a la plasticidad cerebral puede variar según la edad crítica (etapas postnatales, adolescencia, juventud, envejecimiento), traducir los hallazgos de modelos animales (especialmente roedores de vida corta) a la vida y el estilo de vida de humanos de vida más larga resulta complicado (Fatemi & Folsom, 2009; Gao et al., 2021; Paus et al., 2008; Tapia-Arancibia et al., 2008).

Por tanto, la clara implicación de la plasticidad y la maduración cerebral en una variedad de trastornos psiquiátricos y neurológicos, tanto en su patogénesis como en la perspectiva de prevención y tratamiento, requiere una base neurobiológica más sólida. También se necesita un mayor entendimiento en la ciencia de la traducción del tiempo para mejorar la interpretación de los hallazgos provenientes de estudios basados en modelos animales (Charvet, 2021; Clancy et al., 2001).

La neuroplasticidad cerebral ofrece numerosos beneficios, como facilitar el aprendizaje de nuevas habilidades, mejorar las capacidades cognitivas ya existentes, y apoyar la recuperación tras accidentes cerebrovasculares o lesiones cerebrales traumáticas. Además, contribuye a fortalecer áreas con pérdida o disminución de función y puede promover mejoras generales en la aptitud cerebral (Kaczmarek, 2020).

Asimismo, se ha comprobado que los entornos de aprendizaje que proporcionan múltiples oportunidades para enfocar la atención, experimentar novedades y enfrentar desafíos fomentan cambios positivos en el cerebro. Aunque esto es especialmente importante durante la niñez y la adolescencia, enriquecer el entorno sigue siendo beneficioso para el cerebro a lo largo de la adultez (Murdock, s.f.). Estimular tu cerebro puede incluir actividades como aprender un nuevo idioma, tocar un instrumento, viajar y explorar nuevos lugares, practicar artes y otras actividades creativas, así como la lectura (Cherry & Lakhan, 2024).

La plasticidad cerebral está estrechamente asociada con los períodos críticos, que son *ventanas temporales* en las que los circuitos neuronales pueden ser modificados por la actividad y la experiencia, fundamentales para el correcto desarrollo de estos circuitos (Hensch, 2004). Los estudios sobre mapas visuales, auditivos y somatosensoriales han tradicionalmente investigado la plasticidad sináptica en el desarrollo postnatal temprano (Sale et al., 2009). Desde la década de 1990, la neurogénesis adulta ha sido reconocida como un proceso biológico clave, abarcando períodos críticos en regiones específicas y facilitando la conservación de características inmaduras, aunque los cronogramas de la neurogénesis presentan diferencias significativas entre especies (Paredes et al., 2016b; Parolisi et al., 2018; Sanai et al., 2011).

Ventanas de Oportunidad y Períodos Críticos

Los cambios cerebrales provocados por el entorno pueden suceder en cualquier etapa de la vida, aunque con distintos grados de efectividad. Los períodos en los que el entorno tiene un mayor impacto en la aparición de nuevas conductas se denominan períodos críticos y períodos sensibles. Algunos aspectos del comportamiento solo pueden desarrollarse durante estos tiempos específicos (Ismail et al., 2017).

Los *períodos críticos* son menos frecuentes y corresponden a etapas breves y claramente definidas durante las que se producen cambios significativos en una región particular del cerebro. Por ejemplo, el desarrollo de la visión binocular requiere la exposición a estímulos luminosos desde los

primeros días de vida para su correcta formación, y el contacto temprano con hablantes humanos es esencial para el desarrollo del lenguaje (Cisneros-Franco et al., 2020).

En contraste, los *periodos sensibles* son más comunes y se extienden durante períodos prolongados, lo que permite una adquisición gradual de habilidades que puede durar varios años. Ejemplos incluyen el aprendizaje y la memoria, que no dependen de un momento específico en el desarrollo y pueden ocurrir a lo largo de la vida (Zeanah et al., 2011). Tanto en períodos críticos como sensibles, la experiencia es importante para provocar cambios en el cerebro, que a su vez afectan el comportamiento y el desarrollo. Dado que distintas áreas del cerebro se desarrollan y se vuelven funcionales en diferentes momentos, se requieren experiencias específicas en cada etapa para facilitar su desarrollo. Estos períodos se consideran *ventanas de oportunidad* que necesitan estímulos y experiencias concretas para promover el crecimiento sináptico dependiente del uso, esto ocurre en fases de alta sinaptogénesis y relacionadas con la plasticidad cerebral (Ismail et al., 2017).

El desarrollo está influenciado por el tiempo y los cambios en el sistema nervioso y sus correlatos cognitivos no siguen una trayectoria lineal, sino que muestran una forma de U invertida. Esto implica que estos cambios aumentan hasta alcanzar un punto máximo y luego disminuyen, al igual que la susceptibilidad del sistema nervioso a la influencia del entorno, conocida como neuroplasticidad. Los períodos sensibles o críticos del cerebro son momentos en los que la neuroplasticidad alcanza niveles altos, esto facilita una mejora rápida y efectiva de habilidades específicas o procesos de aprendizaje (Lent, 2020).

Los períodos sensitivos se caracterizan por la alta actividad de los mecanismos de plasticidad cerebral que son especialmente receptivos a estímulos ambientales adecuados. Se han identificado estos períodos sensibles para procesos neuropsicológicos complejos como la impronta, el aprendizaje fonético, la música y la extinción de la memoria del miedo. Además, se han establecido períodos sensibles para habilidades sensoriales como la percepción binocular y la localización espacial de sonidos (Lent, 2020).

Los períodos críticos son conceptualmente similares a los períodos sensibles, aunque es útil diferenciarlos para explicar fenómenos del desarrollo que, aunque se superponen, son distintos. A diferencia de los períodos críticos, que representan ventanas de tiempo específicas durante las que la experiencia sensorial tiene un impacto en el desarrollo conductual y cortical. Los períodos sensibles se refieren a etapas en las que la influencia de la experiencia es relativamente mayor, pero no se limita exclusivamente a ese período (Knudsen, 2004; Lewis & Maurer, 2005; White et al., 2013).

Los períodos críticos son descritos como fases de alta plasticidad en las que la experiencia pasiva puede inducir cambios significativos y duraderos en las áreas corticales sensoriales. El cierre de estos períodos críticos está relacionado con la maduración de la neurotransmisión inhibitoria, especialmente la GABAérgica, que facilita la consolidación de las representaciones sensoriales

previamente adquiridas. Este aumento en la inhibición se asocia con la formación de diversos elementos reguladores funcionales y estructurales (Cisneros-Franco et al., 2020).

Las ventanas de oportunidad son fundamentales para adquirir nuevas habilidades, aunque conllevan el riesgo de exposición a efectos adversos del entorno. Durante el proceso de aprendizaje, los estímulos ambientales pueden remodelar de manera positiva las estructuras neuronales. Sin embargo, situaciones adversas como el estrés temprano, que abarca condiciones como la pobreza extrema, la violencia y el abuso, pueden resultar en cambios neuronales mal adaptativos. Este tipo de estrés activa el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal y desencadena la liberación de cortisol que provoca respuestas de lucha o huida, que intervienen en la supervivencia, pero no las perjudican si se prolongan. La persistencia del estrés puede desregular el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal, generar resistencia al cortisol y dañar áreas del cerebro como el hipocampo. Con ello se llega a afectar la estructura dendrítica y la conectividad sináptica (Russell & Lightman 2019; World Health Organization, 2014, 2020).

El exceso de cortisol puede interrumpir el circuito de retroalimentación que regula el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal y ocasionar daños estructurales y funcionales en el cerebro, como la reducción de la ramificación dendrítica y la densidad de espinas dendríticas en el hipocampo. Estudios en ratones sometidos a estrés ambiental han revelado disminuciones significativas en la ramificación y densidad de espinas dendríticas en las neuronas del hipocampo, específicamente en la región CA3. Además, el estrés temprano en ratones adultos se ha asociado con una disminución en la generación de nuevas neuronas en el giro dentado del hipocampo. Estos descubrimientos subrayan cómo el entorno durante las primeras etapas de vida puede tener efectos duraderos y profundos en la estructura y función cerebral (Fabricius et al., 2008; Liu et al., 2016; McEwen, 2017; Oomen et al., 2007).

Durante la adolescencia, ocurre un importante desarrollo cerebral que influye en la maduración cognitiva, social y emocional. La corteza prefrontal experimenta cambios significativos en su estructura y función, estos se relacionan con habilidades cognitivas avanzadas como la toma de decisiones y la regulación emocional (Blakemore & Choudhury, 2006; Fareri et al., 2015; Gee et al., 2013). Además, la red cerebral asociada con funciones sociales y emocionales, incluyendo áreas como la corteza prefrontal medial, la unión temporo parietal y la amígdala, juega un papel fundamental en el procesamiento de estas funciones durante la adolescencia (Blakemore, 2012; Tottenham & Galván, 2016).

Comprender estos cambios neurobiológicos sobre el desarrollo cerebral saludable, puede ayudar a prevenir problemas de salud mental durante la adolescencia. La poda sináptica, proceso que implica la eliminación de conexiones neuronales innecesarias, ocurre predominantemente en la

corteza prefrontal, lo que mejora la eficiencia del procesamiento de información en el cerebro adolescente (Huttenlocher & Dabholkar, 1997; Sowell et al., 2003).

En la etapa adulta, el ritmo de desarrollo neurológico se ralentiza significativamente, pero el cerebro conserva su capacidad de generar nuevas neuronas y establecer conexiones, permitiéndole adaptarse continuamente a nuevas experiencias a lo largo de toda la vida. La neurogénesis adulta es un proceso que facilita la adaptabilidad y juega un papel esencial en funciones como el aprendizaje, la memoria, y la regulación del estado de ánimo y respuesta al estrés (Aimone et al., 2014; Bruel-Jungerman et al., 2007; Koehl & Abrous, 2011; Samuels & Hen, 2011).

Implicaciones Para la Educación

El aprendizaje es necesario a lo largo de toda la vida humana y su vínculo con la neurociencia ha demostrado ser muy prometedor para mejorar la eficacia y efectividad educativa. La neurociencia ha avanzado en el entendimiento del sistema nervioso central que influye en comportamientos, pensamientos, emociones y movimientos para permitir mejoras en la calidad de vida mediante tratamientos para diversos trastornos neurológicos. Los avances tecnológicos y la investigación en neurociencia cognitiva han revelado cómo se establecen conexiones neuronales durante el aprendizaje. De destaca que la plasticidad cerebral es un proceso adaptativo importante para la adaptación (Sierra & León, 2019). Este concepto subraya la capacidad del cerebro para aprender y adaptarse ante nuevas situaciones ambientales y proporciona contribuciones para optimizar métodos educativos (Sánchez-Pacheco, 2022).

Se ha reconocido la importancia de los periodos sensibles o ventanas de oportunidad en el aprendizaje humano, momentos críticos durante los que el cerebro se orienta hacia el establecimiento de conexiones neuronales para los procesos cognitivos (Bodero, 2017). Estos períodos no solo facilitan el desarrollo óptimo de habilidades a corto, mediano y largo plazo, sino que también subrayan la plasticidad neuronal, que permite al cerebro adaptarse y aprender a lo largo de toda la vida. Aunque se ha difundido la idea errónea de que estas ventanas de oportunidad se cierran abruptamente, es posible estimular habilidades en cualquier etapa de la vida, aunque con mayor esfuerzo en la adultez (Velásquez & Piñango, 2013).

Estrategias como juegos y música en el aula ayudan a estimular el desarrollo del sistema nervioso central y facilitar las sinapsis. También, fortalecen las funciones mentales de manera placentera y desafiante (Peruzzolo & Costa, 2015). Sin embargo, persisten obstáculos en la comunicación entre las neurociencias y la educación, debido a las diferencias lingüísticas y conceptuales entre ambos campos (Seixas, 2014).

Durante la infancia y la adolescencia diversas funciones cognitivas y socioemocionales experimentan períodos sensibles específicos. En cuanto al desarrollo del lenguaje, por ejemplo, se han identificado múltiples períodos sensibles con diferentes inicios y duraciones. Estudios realizados

con niños durante el primer año de vida han demostrado que inicialmente son capaces de distinguir fonemas no solo de los idiomas que escuchan diariamente, sino también de idiomas desconocidos para ellos. Sin embargo, esta capacidad disminuye después del primer año, limitándose a los fonemas de sus lenguas principales (Kuhl et al., 2019).

Además, durante la fase temprana de vida, los bebés también muestran sensibilidad hacia ritmos musicales simples, como el de una marcha, aunque su capacidad para discernir otros ritmos más complejos, como el de un vals, es menos desarrollada. Otros aspectos del lenguaje, como el aprendizaje de la sintaxis, parecen tener períodos sensibles específicos, identificados entre los 18 y 36 meses después del nacimiento. Por otro lado, el desarrollo del vocabulario muestra avances significativos a los 18 meses y continúa progresando a lo largo de toda la vida (Zhao & Kuhl, 2016).

Las iniciativas que abordan la mente, el cerebro y la educación deberían promover una conexión más estrecha entre educadores y científicos de los campos del comportamiento, cognitivo y neurobiológico. Algunos de estos vínculos son sólidos y beneficiosos, mientras que otros presentan desafíos. La relación entre el desarrollo cognitivo y la educación puede ser clara y práctica, pero existen otros vínculos menos fundamentados. En particular, la idea predominante de las *ventanas de oportunidad* durante períodos sensibles del desarrollo cerebral para el aprendizaje ha generado una perspectiva restrictiva que no está respaldada por la investigación actual sobre el aprendizaje (Battro et al., 2008).

De hecho, estudios recientes cuestionan la noción común de que se requiere una alta densidad sináptica para facilitar el aprendizaje. Por ello, la integración entre neurociencia y educación debería incluir la evaluación directa de comportamientos específicos, como el dominio de habilidades aritméticas y de lectura, sin presuponer una conexión directa con los hallazgos cerebrales (Battro et al., 2008).

Por otra parte, cuando las cosas no van bien durante el desarrollo, se puede hablar de trastornos del desarrollo, entre los que se destacan el trastorno por déficit de atención e hiperactividad, los trastornos específicos del aprendizaje como la dislexia y la discalculia y el autismo dentro del espectro autista. Estos trastornos representan ejemplos claros de cómo pueden manifestarse las dificultades durante el desarrollo infantil (Lent, 2020).

El trastorno de déficit de atención con hiperactividad se caracteriza por la incapacidad de los niños para mantener la atención en una tarea durante períodos prolongados, por lo que su rendimiento académico se ve afectado. A menudo, estos niños suelen presentar también movimientos corporales constantes, comportamiento social inadecuado y dificultades para moderar su conversación. La evaluación y diagnóstico de trastorno de déficit de atención con hiperactividad deben ser realizados por profesionales especializados, pues las manifestaciones de falta de atención pueden ser diversas y no siempre indicativas de un trastorno (Lent, 2020).

En términos neurobiológicos, se sugiere que el trastorno de déficit de atención con hiperactividad está relacionado con disfunciones en el sistema de recompensa dopaminérgico del cerebro (Furukawa et al., 2014). Este sistema no solo se activa cuando se recibe una recompensa, sino también durante la anticipación de esta, proceso necesario para motivar el comportamiento. Sin embargo, en niños con trastorno de déficit de atención con hiperactividad, esta anticipación de la recompensa parece estar alterada, lo que puede llevar a una menor motivación para completar tareas. Aunque se sospecha una base genética para el trastorno de déficit de atención con hiperactividad, los mecanismos precisos y los cambios cerebrales asociados aún no están completamente comprendidos (Lent, 2020).

Por otro lado, los trastornos específicos del aprendizaje como la dislexia y la discalculia también afectan la capacidad del niño para aprender y desarrollar habilidades para la lectura y las matemáticas, respectivamente. Aunque se han observado diferencias en la morfología de las neuronas y las agrupaciones neuronales en la corteza cerebral de individuos con dislexia, la relación exacta entre estas características y las dificultades específicas del aprendizaje sigue siendo objeto de investigación (Galaburda et al., 1985).

El avance en técnicas de imagen cerebral permite a los neurocientíficos estudiar cómo estas condiciones afectan la actividad cerebral regional y proporciona ideas claras sobre sus bases neurobiológicas. Una nueva línea de investigación prometedora implica el uso de minicerebros derivados de células madre pluripotentes inducidas, obtenidas de individuos con trastornos del desarrollo como el autismo. Este enfoque innovador podría brindar información sobre los procesos específicos en el desarrollo cerebral que subyacen a estas condiciones, y así, abrir nuevas vías para el entendimiento y tratamiento de los trastornos neurológicos (Pan et al., 2019; Setia & Muotri, 2019).

Capítulo 3 Procesos Cognitivos y Aprendizaje

Atención y Memoria

Mecanismos de Atención

La atención en el aula es importante para un aprendizaje efectivo. Los docentes utilizan diversas estrategias para fomentar la participación y el aprendizaje activo, pero su capacidad para controlar el nivel inicial de alerta y concentración de los estudiantes al inicio de la clase es limitada. Investigaciones han demostrado que la actividad cognitiva previa, como tareas complejas de cancelación, puede mejorar significativamente la atención y el aprendizaje de los estudiantes. Implementar un breve programa de ejercicios cognitivos antes de la lección puede ser un método prometedor para optimizar la atención y el rendimiento académico en cursos con formato de conferencias (White et al., 2022).

La comprensión de cómo el estrés afecta la atención y el aprendizaje en niños de primaria ha avanzado considerablemente. Los niños enfrentan diversos niveles de factores estresantes que pueden influir en su respuesta a nuevos estresores en el ámbito educativo. El estrés puede, en algunas circunstancias, mejorar la atención y las habilidades de aprendizaje, mientras que en otras puede perjudicarlas. Los niños varían en sus estilos de atención y aprendizaje según sus niveles de estrés. Por ejemplo, aquellos con mayor estrés tienden a distraerse con facilidad debido a detalles superficiales y enfrentan mayores desafíos para participar en la planificación y el control voluntario (Whiting et al., 2021).

Las investigaciones sobre intervenciones para manejar el estrés en niños se enfocan en técnicas psicológicas como la atención plena y la reevaluación del estrés, técnicas fisiológicas como los ejercicios de respiración, y factores ambientales como la reducción del ruido. Sensibilizar a los profesores sobre las diversas respuestas al estrés de sus alumnos es necesario para atender las diferentes necesidades en el aula. Esta comprensión permitirá a los docentes crear entornos de aprendizaje más adaptados y efectivos, promoviendo el bienestar y el éxito académico de todos los estudiantes (Whiting et al., 2021).

El estrés influye a largo plazo en múltiples aspectos del desarrollo físico y neuronal. Estamos comenzando a comprender cómo el nivel de estrés de un individuo afecta su atención y aprendizaje. En entornos educativos, la respuesta al estrés de un individuo en una situación dada influye en sus capacidades de aprendizaje de maneras complejas (Schwabe & Wolf, 2014). La distinción entre el estrés a corto plazo y el estrés a largo plazo es importante. El estrés a corto plazo surge de factores con un punto inicial y final claro, mientras que el estrés a largo plazo proviene de factores sin un final claro ni una fase de recuperación (Epel et al., 2018).

Un enfoque reciente sugiere reevaluar cómo se presentan las tareas de aprendizaje para aprovechar las fortalezas de los niños de entornos estresantes. Este enfoque recomienda reestructurar

los entornos escolares para asignar tareas que utilicen y aprovechen los talentos y fortalezas ocultos de estos niños. Sin embargo, hasta la fecha, no existen estudios de intervención que hayan probado explícitamente la eficacia de este enfoque (Whiting et al., 2021).

El estrés puede afectar el aprendizaje y la memoria en escalas de tiempo más largas. Para los niños que experimentan ambientes hogareños estresantes, los clubes de desayuno pueden ayudar a brindar ambientes escolares seguros y enriquecedores y apoyo nutricional. En principio, también podrían mejorar los resultados del aprendizaje durante las dos primeras lecciones al proporcionar más tiempo para que se disipen las sustancias químicas que suprimen el aprendizaje. Sin embargo, aún no se ha llevado a cabo una evaluación sistemática de esta posibilidad (Whiting et al., 2021).

Enfoques Pedagógicos Efectivos

Los enfoques pedagógicos emergentes indagan los factores que promueven una mayor efectividad orientada a los procesos de enseñanza-aprendizaje. Ha sido descartada la ideología de que el estudiante sea considerado un ser pasivo receptor de enseñanzas, así se otorga mayor poder a la noción de que el aprendiz debe contar con la capacidad de evaluar su propio proceso de aprendizaje. De esta manera las neurociencias, mediante el estudio de capacidades cognitivas, brinda al ámbito pedagógico un nexo entre el estudio del comportamiento del cerebro y su funcionamiento, esto ha permitido optimizar las estrategias educativas empleadas en el ámbito escolar (Basurto & Zambrano, 2020).

El cerebro humano gracias a su naturaleza dinámica y adaptable se beneficia sustancialmente de una variedad de técnicas pedagógicas, esencialmente las que están relacionadas con la participación activa en la construcción del conocimiento. Como menciona Michael (2006) "el aprendizaje implica la construcción activa de significado por parte del aprendiz" (p.2), lo que señala la importancia de involucrar activamente a los estudiantes en el proceso educativo para optimizar el aprendizaje y desarrollo cognitivo.

Aprendizaje Activo y Colaborativo

Se ha cuestionado desde diversas perspectivas conceptuales la enseñanza tradicional centrada en la transmisión vertical de conocimientos, en este sentido Freire (1978) señala que el maestro deposita sus conocimientos en las mentes supuestamente *vacías* de los estudiantes. Freire abogaba por un enfoque educativo que se trascendiera de esa dinámica unidireccional hacia un aprendizaje colaborativo, en el que aprendices y educadores participen en la construcción del conocimiento.

El aprendizaje activo y colaborativo ha sido reconocido por su capacidad para promover una mayor comprensión conceptual y retención del conocimiento a largo plazo. Este proceso es continuo y se ve influenciado por múltiples factores, como el contexto, experiencias vitales previas, e interacciones sociales. Se enfoca esencialmente en la participación directa y comprometida del educando y en su propio proceso de aprendizaje. Las teorías del aprendizaje activo, exploran cómo las personas de diversos rangos etarios poseen la capacidad para resolver problemas y buscan soluciones en la información que su entorno les puede propiciar. El conocimiento adquirido mediante esta búsqueda de información activa y constante, es considerado más sólido y duradero en comparación con el conocimiento que se obtiene de manera pasiva por la repetición (Biase, 2019). Los métodos y los contenidos en los que el estudiante tiene mayor control son considerados más interactivos y efectivos para la adquisición de aprendizaje.

María Montessori desarrolló un enfoque pedagógico conocido como *La Nueva Educación*, con el objetivo de transformar la comprensión de los individuos en etapa de desarrollo, este método está sustentado en la creatividad que se posee al solucionar problemas, la libre elección, y el autocontrol (Alomá et al., 2022).

Montessori (1912) destaca la *mente absorbente* de los niños y hace referencia a las capacidades que poseen para observar y absorber los elementos de su entorno. La modificación del entorno es uno de los elementos que María Montessori destaca, gracias a que promueve el aprendizaje autodirigido basado en la curiosidad, mediante el que se facilita el desarrollo de la independencia, autoeficacia y adquisición de conocimientos.

La investigación actual apoya firmemente esta visión. Catherine et al. (2020) mencionan en relación a los periodos sensibles de aprendizaje que “el entorno preparado promueve adecuadamente actividades espontáneas mediante la repetición, de modo que las características que corresponden a estos períodos se adquieran con éxito” (p.5). Los cambios estructurales y funcionales en el cerebro que ocurren durante etapas del desarrollo neurobiológico, refuerzan la idea de que el aprendizaje se produce en períodos sensibles mediante la estimulación de los sentidos. Los mecanismos subyacentes del aprendizaje activo, aún no se comprenden completamente, a causa de la complejidad de los procesos pedagógicos. Dado que las experiencias de aprendizaje temprano pueden influir tanto en los resultados de aprendizaje inmediatos como en la motivación, resulta útil investigar los mecanismos del aprendizaje activo durante la infancia para establecer hábitos de aprendizaje y curiosidad fundamentales (Begus & Bonawitz, 2020).

La neurociencia ha aportado información para entender la educación, entre esos hallazgos Dubinsky y Hamid (2024) resaltan el cómo la plasticidad sináptica sustenta prácticas educativas efectivas, tales como, el aprendizaje espaciado, la funcionalidad del componente *novedad* y la integración del conocimiento previo. El aprendizaje espaciado y las prácticas de recuperación de información ayudan a mejorar la retención de la memoria y los resultados de aprendizaje. Además, la naturaleza asociativa de la plasticidad sináptica y su respuesta a estímulos novedosos y excitación intensa, destaca la importancia de activar el conocimiento previo en los aprendices antes de introducir nuevo material. Su estudio enfatiza en los conocimientos neurocientíficos sobre los mecanismos de aprendizaje activo, la participación de la dopamina y el circuito de aprendizaje por refuerzos en el fomento de la motivación intrínseca, la evaluación de errores, la curiosidad y las interacciones entre los estudiantes, concluyendo que las mejores pedagogías educativas involucran el circuito de aprendizaje por refuerzo.

Los hallazgos de Leow et al. (2024), apoyan las diversas pedagogías en relación al aprendizaje activo, entre estas encontraron como más efectivas, el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje colaborativo, el aprendizaje cooperativo, el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje en la indagación y el aprendizaje basado en juegos. Los investigadores los caracterizan por ser enfoques activos que permiten implementar la pedagogía de aprendizaje invertido. Además, se resaltó el consenso de funcionalidad que demostraron estos enfoques en diferentes entornos educativos de primaria (63.3%), secundaria (76.9%) y terciaria (98%).

El estudio realizado por Muhammad et al. (2023) resalta los beneficios del aprendizaje colaborativo entre pares y destaca el papel de fortalecer la comprensión conceptual y los resultados académicos, mediante discusiones grupales e interacción con instructores. Se encontró que el aprendizaje colaborativo en línea puede ser efectivo al igual que las sesiones colaborativas cara a cara, gracias al soporte técnico y orientación académica dentro de los grupos de trabajo estudiantil.

Además, Cho et al. (2021) demostraron que los estudiantes en aulas invertidas (una de las estrategias pedagógicas usadas en el aprendizaje activo) muestran un mejor desempeño y una mayor preparación para el curso. Se atribuyen estos resultados al ambiente de aprendizaje de apoyo, gracias al que se fomenta la autonomía de los aprendices. Estos hallazgos demuestran que el modelo de clase invertida aumenta el compromiso estudiantil y prepara de manera más efectiva el entorno de aprendizaje.

Wang y Hofkens (2020) enfatizan que el aprendizaje académico se desarrolla en un contexto fundamentalmente social, los espacios de aprendizaje contienen la función de ser entornos donde las oportunidades de adquirir conocimiento se interrelacionan con la calidad de las interacciones sociales entre maestros y compañeros. Estos entornos ayudan al desarrollo de los estudiantes al recibir una retroalimentación constante de su ambiente escolar, lo que les permite ir desarrollando su identidad, que es un aspecto clave, debido a que la interacción entre el ambiente escolar genera la colaboración necesaria para cimentar conocimientos a largo plazo.

En un estudio realizado por Deslauriers et al. (2019) se expone la discrepancia entre la percepción de los estudiantes sobre su propio aprendizaje y los resultados de su aprendizaje real. Los estudiantes en entornos que promueven el aprendizaje activo demostraron un mejor aprendizaje real, aunque percibieron que aprendieron menos en comparación con aquellos en entornos pasivos. Evaluar la efectividad de la enseñanza basándose en las percepciones de los estudiantes podría favorecer erróneamente métodos de enseñanza pasiva menos efectivos. Además, a pesar de la creencia común de que a los estudiantes no les gusta trabajar en grupo, ninguno de los participantes en este estudio citó el trabajo en grupo como un inconveniente, lo que subraya la relevancia de implementar técnicas de aprendizaje colaborativo.

Por otro lado, el aprendizaje activo alienta el sentido de compromiso en el aprendiz, lo que juega un rol fundamental al aumentar la curiosidad y crear experiencias de aprendizaje más significativas. En este sentido, Shim y Kim (2019), señalan que “el valor de perseguir la curiosidad radica en cuán importante y útil es la información para el individuo en cuestión y qué tan accesible es esa información para ellos” (p. 857). Es fundamental que las metodologías de aprendizaje estimulen la curiosidad, con base en la percepción de utilidad y la accesibilidad de la información, puesto que cuando los contenidos se perciben como relevantes y útiles para metas personales y profesionales importantes, los individuos muestran una mayor disposición a explorar activamente e indagar en el tema.

Las estrategias de instrucción de aprendizaje activo pueden diseñarse para involucrar a los estudiantes en actividades tales como el pensamiento crítico o creativo, las sesiones de discusión entre compañeros, en grupos pequeños o con toda la clase, la articulación de ideas a través de la escritura, el examen de actitudes y valores personales, la retroalimentación y la reflexión sobre el proceso de aprendizaje (Buehl, 2023). Estas estrategias pueden implementarse en diferentes contextos, por ejemplo, en clase, fuera de clase, individualmente o en grupo, y con o sin tecnología. Cuando los instructores utilizan estrategias de aprendizaje activo suelen centrarse mayoritariamente en ayudar a los estudiantes a desarrollar la comprensión y las habilidades. Esto promueve el aprendizaje profundo, en lugar de simplemente transmitir información, lo que apoya el aprendizaje superficial. Asimismo, crean oportunidades para que los estudiantes apliquen y demuestren su aprendizaje y reciban retroalimentación inmediata de sus compañeros o del instructor.

Enseñanza Personalizada y Adaptativa

Según la conceptualización que destaca Romano (2023), la enseñanza adaptativa se define como “la aplicación de diferentes estrategias de enseñanza a diferentes grupos de estudiantes, de modo que la diversidad presente en el aula es apoyada en el logro de objetivos de aprendizaje” (p. 559). En el contexto del aprendizaje personalizado, los métodos educativos se adaptan individualmente a cada estudiante y se reconoce que la personalización de la enseñanza se centra en las acciones que se realizan específicamente para cada alumno, no solo en los métodos usados de manera general. A pesar de que, implementar esta modalidad en un aula de clases es posible, los desafíos al intentar personalizar la enseñanza se hacen presentes. En la educación superior, la tecnología ha transformado la pedagogía, que ha pasado de ser un mero canal de distribución de contenidos, a ser capaz de identificar constantemente las necesidades de aprendizaje de cada estudiante y proporcionar trayectorias de aprendizaje adaptadas en tiempo real (Ryoo y Winkelmann, 2021).

Cavanagh et al. (2020) enfatiza nuevamente el desafío derivado de la falta de claridad y consistencia en la terminología utilizada, tal ambigüedad dificulta la definición precisa a nivel teórico, así también, la implementación efectiva en los contextos educativos. Contrario a Ryoo y Winkelmann (2021) que consideran que la variedad de tecnología disponible para la enseñanza adaptativa agrega una capa adicional de complejidad, dado que estas pueden variar ampliamente en sus enfoques y capacidades.

A pesar de las ambigüedades en la definición del aprendizaje adaptativo y personalizado, existe cierta claridad en la metodología empleada para lograr este tipo de enseñanza, entre estos componentes se encuentran, la individualización que se refiere al ajuste del ritmo del aprendizaje, la diferenciación que denota la adaptación de los métodos de instrucción a diferentes estilos de aprendizaje y la personalización del contenido del aprendizaje en base a las características e intereses únicos de los aprendices. Ese tipo de aprendizaje facilita un enfoque centrado en el aprendiz que sustenta las necesidades específicas de cada individuo. Así, el aprendizaje se convierte en una experiencia personalizada que permite expandir el conocimiento, las habilidades y la comprensión que posee cada estudiante (Shemshack y Spector, 2020).

Floris (2022) propone tres dimensiones esenciales entendidas desde la neurociencia para comprender cómo adaptar el entorno educativo en beneficio de los procesos cognitivos, motivacionales y afectivos de los estudiantes. En primer lugar, la dimensión denominada grado de profundidad, esta se centra en la personalización que puede ir desde ajustes superficiales, como, por ejemplo, el uso del nombre del estudiante en las actividades, hasta la integración de sus intereses personales en el contenido curricular. La segunda dimensión se refiere a la escala de personalización aplicada que puede ser individual para cada estudiante. Esta ayuda a adaptarse a grupos pequeños con características comunes o extenderse a grupos más grandes basados en criterios generales. Finalmente, la dimensión de propiedad que describe el nivel de control que tienen los estudiantes sobre su proceso de aprendizaje y abarca sistemas automatizados donde los aprendices seleccionan activamente el contenido y enfoque educativo.

El enfoque en la enseñanza personalizada no busca adaptarse superficialmente, sino que aspira a integrar las necesidades individuales en el currículo educativo y al plan de aprendizaje personalizado propuesto por Shemshack y Spector (2020). El aprendizaje adaptativo anima a un currículo que apoye el aprendizaje intencional, similar a la perspectiva educativa planteada por Montessori, en planes de estudio desarrollados por los estudiantes y el aprendizaje basado en proyectos (Casquejo, 2019).

Peng et al. (2019) definen los conceptos clave, llamados *valores del aprendizaje adaptativo personalizado*, y refieren que se fundamenta en características individuales, rendimiento individual, desarrollo personal y ajuste adaptativo. Los primeros tres representan los niveles de personalización en el aprendizaje, mientras que el cuarto se refiere a la estrategia de ajuste adaptativo en la enseñanza para alcanzar estos niveles. El aprendizaje adaptativo puede ser descrito como una pedagogía que modifica las estrategias de enseñanza en tiempo real según sea necesario, debido al cambio constante y las diferencias en las características del desarrollo personal de los estudiantes. Entre los principales métodos para lograr el aprendizaje adaptativo personalizado se contempla: (1) la adaptación de las estrategias de enseñanza en función de las características individuales de cada educando, (2) el ajuste de las estrategias pedagógicas en base a las diferencias y cambios en el rendimiento del estudiante, y (3) la modificación de las estrategias que considera las variaciones en la visión del desarrollo personal del aprendiz.

Un ambiente educativo en el que se reconocen las emociones fomenta un aprendizaje en el que los estudiantes se sienten seguros, aceptados y alentados a tomar riesgos intelectuales. Forjar conexiones en las aulas y las escuelas, a través del aprendizaje individual y grupal que potencie la implicación emocional, permite el desarrollo de competencias emocionales y sociales. Con ello, se activan regiones del cerebro involucradas en la cognición, la memoria y la creación del significado (Wilson & Conyers, 2020).

La enseñanza se puede optimizar al aprovechar la capacidad del cerebro para detectar rápidamente lo novedoso en el entorno. Esta capacidad contiene la detección de los cambios inesperados, como secuencias de palabras o números. Los docentes pueden utilizar esta predisposición a la novedad, al variar los métodos de enseñanza para así poder involucrar a los estudiantes individualmente. Sin embargo, resulta importante reconocer que la percepción de novedad está influenciada por las experiencias personales de cada individuo lo que dificulta generalizar esta estrategia para un aula entera. La disciplina que integra la cognición, la educación y la psicología, ofrece implicaciones para la personalización y adaptación del aprendizaje y permite a los profesionales de la educación, identificar efectivamente los desafíos y necesidades individuales de los educandos al analizar desde varios enfoques los problemas que podrían estar enfrentando (Tokuhamo-Espinosa, 2012).

Barrera (2022) Barrera (2022) explica cómo, según la teoría de la plasticidad cerebral, los cerebros humanos pueden crear nuevas conexiones y adaptarse a la pérdida de funciones cerebrales. Esto se logra mediante el desarrollo de nuevas conexiones durante el aprendizaje formal o informal. Además, reconoce que los cerebros son verdaderamente únicos, lo que implica que no todos pueden abordar todas las tareas con la misma eficacia. El aprendizaje siempre se filtra a través de las experiencias previas del individuo.

Zhang et al. (2020) tras la revisión de la investigación sobre la implementación del aprendizaje personalizado en entornos educativos de primaria y secundaria en diversos sistemas educativos, concluyó que existe una rápida integración de la tecnología en los entornos educativos desde la educación preescolar hasta el doceavo grado. La combinación de actividades de educadores y estudiantes, junto al uso adecuado de la tecnología y el marco del Diseño Universal para el Aprendizaje, se identificaron como herramientas de apoyo potencial para los profesionales que buscan implementar la enseñanza personalizada y adaptativa. A pesar de ello, la transformación educativa de un enfoque tradicional centrado en el maestro, a un modelo de aprendizaje personalizado impulsado por el aprendiz, representa un desafío complejo de sobrellevar.

En un estudio realizado por Makhambetova et al. (2021) se encontró que el factor de la motivación supone un elemento clave en el aprendizaje ya sea adaptativo o personalizado, También, que hay un nivel moderado de motivación para el éxito, con un promedio de 15.6 puntos lo que indica un interés moderado en mejorar su rendimiento académico.

La sobreindividualización puede causar aislamiento social lo que reduce la interacción entre pares y afecta el desarrollo emocional, la identidad y la autonomía. La tecnología impulsa el aprendizaje con retroalimentación personalizada, pero el uso excesivo puede reducir la autorreflexión, simplificar tareas y disminuir desafíos, comprometiendo el desarrollo cognitivo. France (2019) concluye que un aula personalizada debe diseñarse para empoderar la autonomía de los estudiantes, lo que permite la percepción, comprensión y expresión del progreso continuo y responsabiliza tanto a educadores como a estudiantes en su trayectoria educativa.

La implementación de este tipo de enseñanza enfrenta varias limitaciones. Una de las principales es la falta de recursos adecuados y la capacitación insuficiente de los educadores, junto con los desafíos tecnológicos, la resistencia al cambio y la dificultad para evaluar el progreso. Además, garantizar la equidad en el acceso universal a estas oportunidades educativas se convierte en un objetivo difícil de lograr en contextos con disparidades socioeconómicas o culturales (Romero et al., 2016).

Técnicas de Enseñanza y Aprendizaje

La neuroeducación plantea dos cuestiones fundamentales: si es posible mejorar el funcionamiento cerebral a través de la educación y si el conocimiento sobre el cerebro puede beneficiarse de la enseñanza y el aprendizaje. Los conceptos y estudios que respaldan este campo responden afirmativamente a ambas preguntas, gracias a la tecnología de neuroimagen, que facilita la comprensión de los procesos cerebrales y la anatomía. Además, la ciencia cognitiva se enfoca en los procesos psicológicos superiores como la atención, la percepción, el lenguaje, la memoria y el razonamiento (Rueda, 2020).

Por ejemplo, se ilustra cómo la práctica de recuperación activa mediante pruebas de memoria mejora la retención a largo plazo de manera más efectiva que el estudio repetitivo. Imágenes cerebrales han demostrado que las pruebas activan áreas del córtex parietal relacionadas con la recuperación de información, facilitando el aprendizaje continuo y la consolidación del conocimiento (Rueda, 2020).

En el enfoque tradicional de enseñanza-aprendizaje predominaba la transmisión de conocimientos con una participación limitada del estudiante. Para mejorar esta dinámica, las técnicas de aprendizaje activo han ganado relevancia y otorgado al aprendiz un papel central en su propio proceso de aprendizaje. Se ha subrayado la importancia de métodos que mejoren la asimilación de conocimientos y la resolución de problemas que requieren que los estudiantes utilicen habilidades de pensamiento tanto de orden inferior como de orden superior, entre ellos se contempla el análisis, la evaluación y la creatividad (Dixit et al., 2021).

A continuación, se exploran diversas técnicas que pueden optimizar la asimilación de conocimientos y la resolución efectiva de problemas.

La primera es el *uso de tecnologías y herramientas digitales*, en el contexto actual los avances científicos y tecnológicos han generado transformaciones en la vida cotidiana de la sociedad en conjunto, estos desarrollos han democratizado de cierta forma el acceso al conocimiento y las telecomunicaciones, han proporcionado a millones personas herramientas tecnológicas físicas y virtuales que simplifican tareas que con anterioridad eran laboriosos. Posterior a la crisis sanitaria del 2020, la importancia de las tecnologías ganó gran relevancia en todos los sectores, académico, cultural, social y comercial (Ccoa & Alvites-Huamaní, 2021).

Aparicio (2018) argumenta que integrar la tecnología en el proceso educativo implica utilizar herramientas digitales que estén estrechamente vinculadas a aspectos cognitivos del ser humano. Por ello, es esencial que los educadores cuenten con las competencias necesarias para guiar a los estudiantes en la construcción activa de su propio aprendizaje. También señala que la incorporación de tecnología se relaciona con un mejor rendimiento académico, ya que facilita un enfoque que promueve la evaluación formativa. Durante el proceso de enseñanza, la evaluación puede llevarse a cabo en diversas etapas y adoptar formas como heteroevaluación, coevaluación y autoevaluación, permitiendo retroalimentación inmediata gracias a las facilidades tecnológicas. Además, la amplia variedad de recursos tecnológicos permite realizar evaluaciones utilizando técnicas variadas, como textos, audios, videos, juegos y dinámicas, entre otros.

En un estudio realizado a 4,874 docentes universitarios, Arancibia et al. (2020) encontraron que más del 80% de los profesores adoptan ideologías de enseñanza centradas en la transmisión de información o en el docente, así como creencias constructivistas. Esto da lugar a dos tipos de perfiles: el perfil centrado en el docente y el perfil centrado en el estudiante. El perfil conductista prioriza la transmisión de conocimientos y considera que el éxito académico depende principalmente de la motivación y los conocimientos previos de los estudiantes, más que de los métodos de enseñanza. En contraste, el perfil constructivista enfatiza el aprendizaje colaborativo y el desarrollo de competencias a través de la creación de entornos de aprendizaje significativos. Sin embargo, en ambos perfiles, la integración de recursos tecnológicos en la pedagogía se considera generalmente baja.

Estos resultados destacan la necesidad de promover una enseñanza activa, dinámica y actualizada que utilice estrategias pedagógicas efectivas. La tecnología desempeña un papel importante en los procesos de aprendizaje y enseñanza de niños y adolescentes. Según Mamani y Huamaní (2021), muchas herramientas educativas digitales han sido creadas para otorgar autonomía a los estudiantes, pero también para mejorar la administración de los procesos académicos, fomentar la colaboración y facilitar la comunicación entre profesores y estudiantes.

Los dispositivos móviles pueden verse como posibles distractores en el entorno de aprendizaje, pero esta perspectiva contrasta con la teoría de la actividad de Vygotsky. Según este autor, los dispositivos móviles son herramientas integradas en el proceso educativo sociocultural y pueden facilitar las actividades de aprendizaje en contextos específicos, adaptándose a las necesidades tanto del estudiantado como del profesorado (Carbaño, 2021).

En el ámbito tecnológico, una herramienta digital contempla recursos como software, que facilita interacciones y desarrollos, y hardware, que incluye dispositivos físicos necesarios para el uso de estos programas (Hernández y Domich, 2021). Las Tecnologías de la Información y la Comunicación comprenden tanto software de pago como opciones gratuitas, estas últimas son esenciales para promover el acceso equitativo al conocimiento digital en entornos educativos. El papel de las herramientas cognitivas en la integración de computadoras en la educación escolar destaca su capacidad para promover la reflexión y el aprendizaje activo entre los estudiantes, lo que facilita la asimilación de conocimientos y mejora la capacidad de pensar analíticamente sobre el contenido educativo recibido. Según Aparicio (2018), aprender con la tecnología implica utilizar herramientas cognitivas en los procesos de aprendizaje, lo que requiere la presencia de un facilitador preparado para guiar al aprendiz y fomentar la construcción del conocimiento en lugar de la mera reproducción de información.

Betancourt (2020) define una estrategia de aprendizaje como el camino para desarrollar destrezas y capacidades a través de contenidos y métodos. Una de las estrategias fundamentales son las herramientas de colaboración cognitiva, que están diseñadas para reducir la carga cognitiva del aprendiz al actuar como asistentes intelectuales. Estas herramientas tecnológicas permiten a los estudiantes enfocarse en el reconocimiento y organización de información y evitar la distracción de procesos memorísticos y representacionales. Además, las herramientas de interpretación de la información, que incluyen visualizaciones, ayudan a los estudiantes a transformar conceptos abstractos en representaciones visuales concretas, como los laboratorios virtuales y simuladores.

Las herramientas de comunicación y colaboración, como chats, foros, wikis y redes sociales educativas, promueven el aprendizaje colaborativo entre pares, y a la vez, incrementan las habilidades sociales de discusión e intercambio de ideas y enriquecen el proceso educativo con el contenido de diferentes perspectivas presentadas en estas plataformas. Además, las herramientas de organización semántica ayudan a los estudiantes a estructurar y analizar la información de manera sistemática (Carrillo, 2021).

Hernández y Domich (2021) mencionan que las herramientas digitales, en la era de la información, son necesarias para detectar y potenciar los beneficios del internet, que permite acceder a fuentes de información digital variadas y ricas en todas las áreas del conocimiento.

La segunda, es *comprender la retención y comprensión de la información* en el ámbito educativo, es importante entender estas funciones como la capacidad de procesar y recordar información. Involucra habilidades cognitivas como atención, percepción, memoria y razonamiento. Según Costamagna y Manuale (2005), en las aulas universitarias existe un problema relacionado con la comprensión, lo que lleva a organizar contenidos hacia investigaciones didácticas centradas en la *pedagogía de la comprensión*. En este contexto, se destacan tres principios en las prácticas de enseñanza.

- ✓ Instrucción didáctica, se trata de la presentación clara y correcta de la información. Se enfoca en la explicación a través de diversas metodologías que busca recuperar el rol del docente como transmisor de contenidos. La instrucción debe estar lógicamente organizada alrededor de los tópicos generales de la disciplina (Costamagna y Manuale, 2005).
- ✓ Entrenamiento, se refiere a la creación de ambientes educativos donde los estudiantes ejerciten los contenidos aprendidos de manera flexible, compleja y profunda. Esto se adapta a la individualidad de cada estudiante y genera motivación en esos espacios (Costamagna y Manuale, 2005).

- ✓ Enseñanza socrática, está incita la reflexión a través de preguntas que promueven el aprendizaje. Una comprensión adecuada de los contenidos no se crea a partir de la acumulación de contenidos aislados, se requiere de estrategias de pensamiento que proporcionan conocimientos básicos y la información relevante sobre un tópico, sin embargo, a la par mantiene un lado reflexivo respaldado por retroalimentación informativa.

Dado que los estudiantes aprenden de maneras diferentes, las propuestas didácticas deben ir dirigidas a diversas vías de acceso al conocimiento, ya sea narrativa, lógico-matemática, fundacional, estética o experiencial y deben ser apropiadas al contenido que se desea enseñar (Domínguez de la Rosa, 2021).

A partir de esta fundamentación teórica, se derivan diversas estrategias, métodos y técnicas que mejoran la comprensión y retención de la información. Una de las estrategias que ha innovado la manera de aprender, son los *Sistemas de Tutoría Inteligente*, estos son sistemas computacionales que ofrecen una manera adaptada y personalizada de dar lecciones a los estudiantes. Por otro lado, se encuentran las tecnologías como la realidad virtual, la gamificación y el Big Data, estas tecnologías crean entornos de aprendizaje interactivos y adaptativos, basado en competencia y habilidades prácticas para el mundo actual, que incluye la comprensión estadística, la gestión de proyectos, los pensamientos analíticos, entre otros varios (Escobar et al., 2023).

Dentro de la comprensión de información se encuentra un aspecto clave denominado comprensión lectora, se requiere de diversas técnicas para lograr una comprensión efectiva, que se definen como las estrategias interactivas que los lectores emplean para mejorar la comprensión y la memoria de lo que leen, así como para identificar y corregir posibles errores de comprensión, requieren una actitud vigilante en la evaluación del logro de objetivos. Esto implica que los lectores ajusten su enfoque cuando lo consideren necesario (Arroyo et al., 2020).

Según García-Mogollón y Mogollón- Rodríguez (2020), la gamificación como estrategia educativa fortalece los procesos cognitivos y mejora los niveles de competencia lectora. Mediante el empleo de un entorno virtual llamado *Mundo Awen*, se mejoró la comprensión lectora que ayuda al fortalecimiento de los procesos cognitivos y también a la comprensión lectora en sus distintos niveles.

Bernal-Gamboa et al. (2021) examinaron el impacto de la creación de contenido visual a través de plataformas en línea o aplicaciones móviles, específicamente el uso de infografías como recurso educativo, en la retención de información entre 102 estudiantes de tercer semestre de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los resultados indicaron que el uso de infografías tuvo un efecto positivo significativo en la retención de información hasta 30 días después de la exposición, en comparación con aquellos que no utilizaron infografías. Las infografías facilitaron la construcción de representaciones cognitivas mediante la presentación visual de la información, en contraste con las presentaciones tradicionales en diapositivas PowerPoint.

La explicación de estos hallazgos se basa en que las infografías codifican la información tanto visual como verbalmente y ofrece al estudiante una combinación integrada de narrativa, imágenes y datos. Actúan como una especie de organizador gráfico que acelera el proceso cognitivo de recuperación (Díaz-López, 2021).

Según Ryoo y Winkelmann (2021), existen tres categorías principales de estrategias de aprendizaje que los estudiantes emplean para mejorar su comprensión y retención. La primera es la metacognitiva, destinada a planificar, organizar y controlar las actividades de aprendizaje, permitiendo al estudiante reflexionar sobre sus logros y analizar cómo está aprendiendo, retroalimentando así las áreas de mejora. La segunda es la cognitiva, utilizada para organizar el proceso de aprendizaje, e incluye tomar notas, seleccionar fuentes científicas, repetir para memorizar, establecer analogías y crear conceptos clave que ayuden a retener los conocimientos adquiridos.

Los métodos de aprendizaje activo son fundamentales para el desarrollo integral de los estudiantes, especialmente en la adquisición de habilidades para resolver problemas. El aprendizaje basado en problemas y la instrucción entre pares son más eficientes y efectivos en comparación con los métodos tradicionales. Asimismo, el aula invertida mejora la participación, el compromiso y la motivación de los estudiantes mediante el uso de materiales de aprendizaje y sesiones interactivas. Otros métodos, como el juego de roles y los juegos de sistemas de respuesta inmediata, crean un entorno de aprendizaje atractivo y desafiante (Prieto et al., 2021).

Los estudios muestran que estas técnicas mejoran la comprensión de conceptos, la confianza en su aplicación y la satisfacción general con la experiencia de aprendizaje. Un análisis consolidado de retroalimentación sobre estas prácticas revela que el 96 % de los estudiantes expresó claridad en su comprensión, el 92.72 % demostró confianza en la aplicación de conceptos y el 97.27 % reportó una mejora en la satisfacción con su experiencia de aprendizaje (Dixit et al., 2021).

Entre las técnicas para la adquisición del conocimiento se encuentra EduScrum, donde los estudiantes trabajan en equipos autogestionados y hacen visible su aprendizaje. Un tutor (product owner) proporciona el qué y el porqué de la actividad, mientras que los estudiantes (equipo) deciden el cómo. Un capitán lidera el equipo, especialmente en la revisión del trabajo de cada estudiante. Se realizan retrospectivas regulares para celebrar logros e identificar áreas de mejora (Velichová & Gabková, 1962). De manera similar, el método Think-Pair-Share hace que los estudiantes piensen individualmente sobre el tema, discutan en pareja para enfrentar y elaborar sus ideas, y finalmente compartan sus hallazgos con un grupo más grande.

Otra técnica es el Juego de Memoria, donde un estudiante de cada grupo puede leer una tarea durante treinta segundos y luego informar al grupo. Posteriormente, otro estudiante puede leer la hoja para obtener más detalles, y así sucesivamente. La integración de tecnologías educativas (EdTech) en el aula representa una innovación transformadora en el proceso educativo contemporáneo. Se utilizan plataformas y aplicaciones digitales disponibles y EdTech requiere un enfoque que garantice la formación tanto del estudiante como del docente (Donahoe et al., 2019).

Evaluación y Retroalimentación

La evaluación formativa involucra a todos los participantes mediante la autoevaluación, coevaluación y evaluación por otros, con el objetivo de centrar al estudiante en el proceso educativo. Según Calatayud Salom (2018), se espera que los estudiantes participen activamente tanto en su aprendizaje como en la evaluación práctica. La autoevaluación, necesaria para la autorregulación, permite a los estudiantes monitorear su progreso, identificar obstáculos y fortalezas con precisión neurocognitiva, promoviendo la mejora continua y el desarrollo de habilidades críticas de pensamiento.

Cedeño et al. (2023) señalan que la evaluación es un proceso continuo y sistemático que implica la recopilación, análisis e interpretación de datos para proporcionar retroalimentación sobre contenidos actitudinales, cognitivos y procedimentales. En el ámbito educativo, la evaluación es fundamental ya que proporciona una medida cuantitativa del aprendizaje, verificando el rendimiento de los conocimientos adquiridos y mejorando la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Aunque tanto la evaluación automática como la autorreflexión son mecanismos críticos, la autorreflexión se revela como fundamental para desarrollar evaluaciones complejas que sustenten las metas a largo plazo de los individuos en el proceso de aprendizaje. El funcionamiento de los procesos de evaluación se basa en la integración de experiencias pasadas con contextos y metas actuales. La unificación de datos de neuroimagen y el bagaje teórico de la neurociencia afectiva en el estudio de la evaluación crean nuevas vías para entender cómo funciona el cerebro en diferentes contextos. La corteza prefrontal, con su capacidad para gestionar la información, se presenta como un área de investigación futura (Cunningham & Zelazo, 2007).

En *Scaling up Assessment for Learning in Higher Education* (Carless, 2017), se abordan cuatro elementos para mejorar y expandir las prácticas de evaluación orientadas al aprendizaje en la educación superior.

La primera es *Enabling Assessment Change*, este elemento se refiere a los procesos y estrategias necesarios para efectuar cambios significativos en las prácticas de evaluación. Implica comprender y superar barreras institucionales, desarrollar políticas adecuadas y fomentar una cultura que valore la evaluación como herramienta de aprendizaje, en lugar de verla únicamente como una medida de rendimiento (Carless, 2017).

La segunda es *Assessment for Learning Strategies and Implementation*, este enfoque incluye técnicas prácticas para incorporar la evaluación en el proceso de aprendizaje, como la evaluación formativa, cuyo objetivo es proporcionar retroalimentación continua para guiar y mejorar el aprendizaje de los estudiantes (Carless, 2017).

La tercera se trata del *Feedback for Learning*, que examina cómo proporcionar retroalimentación útil y constructiva para los estudiantes. La retroalimentación debe ser específica, oportuna y enfocada en el desarrollo de habilidades y conocimientos, lo que ayuda a los estudiantes a identificar sus fortalezas y áreas de mejora.

La cuarta es *Using Technology to Facilitate Assessment for Learning*, la tecnología desempeña un papel necesario en la modernización y eficiencia de las evaluaciones mediante plataformas en línea, software de evaluación adaptativa y aplicaciones para retroalimentación inmediata y personalizada, permitiendo una personalización que se ajuste mejor a las necesidades individuales de los estudiantes.

Diversas investigaciones examinan el funcionamiento del cerebro y sus múltiples disciplinas relacionadas. Albanese y Compagno (2023) destacan que no existe una separación clara entre el cerebro, la mente, el cuerpo, las emociones, las relaciones sociales y sus respectivos entornos. Esto resalta la necesidad de implementar métodos y herramientas de evaluación que superen las limitaciones de los exámenes convencionales. Así, la evaluación se concibe como una oportunidad para observar y comprender los procesos que generan aprendizaje y cómo el conocimiento adquirido se traduce en comportamientos efectivos y habilidades personales aplicables en distintos contextos.

Es útil alinear la percepción de la retroalimentación entre docentes y estudiantes para clarificar los roles y las expectativas del proceso. La literatura destaca que las actividades que pueden promover una retroalimentación efectiva incluyen el andamiaje cognitivo, la participación de múltiples actores como fuentes de información, el uso de guías o formularios de retroalimentación y la revisión de tareas (Cáceres & Tapia, 2021).

Formas de Evaluación Basadas en la Neurociencia

Arredondo et al. (2010) destacan la necesidad de entender correctamente el concepto de evaluación, ya que suele confundirse con términos como calificación y medida. La evaluación es un concepto más amplio que incluye tanto la calificación como la medida, pero no se limita a ellos. El proceso de evaluación es una característica inherente a las actividades humanas intencionales y requiere objetividad y sistematización. Este proceso demanda el uso de escalas o criterios como marcos referenciales para recolectar datos.

Medir se define como el conjunto de acciones destinadas a obtener y registrar información cuantitativa sobre cualquier hecho o comportamiento. Aunque la medida es necesaria para evaluar, por sí sola no es suficiente para lograr una buena evaluación. Las ideologías tradicionales mantuvieron la creencia de que el progreso académico de los alumnos podía cuantificarse exclusivamente por lo aprendido. Sin embargo, actualmente se reconoce que la evaluación conlleva procesos amplios y complejos que deben interpretarse en el contexto del cual se extraen los criterios establecidos para cada meta (Arredondo et al. (2010).

Para que la evaluación sea efectiva, debe cumplir ciertas características clave. Primero, debe integrarse en el diseño y desarrollo del currículum, asegurando su alineación con los objetivos educativos. Segundo, la evaluación debe ser formativa, para mejorar el proceso educativo y los resultados obtenidos. Además, debe ser continua, extendiéndose a lo largo de todo el proceso educativo para proporcionar retroalimentación constante. También debe ser recurrente, funcionando como un recurso didáctico sistemático. Debe estar basada en criterios establecidos para cada estudiante y ser decisoria y permite establecer juicios y tomar decisiones informadas. Finalmente, debe ser cooperativa, esto facilita la participación de todos los implicados en el proceso educativo (Cedeño et al., 2023).

Los procesos de evaluación formativa se articulan dentro de un marco constructivista del aprendizaje. La teoría de la evaluación cognitiva, como parte de la Teoría de la Autodeterminación, explora los factores que influyen en la motivación intrínseca en contextos sociales. Esta teoría sostiene que eventos interpersonales y estructuras como recompensas, comunicaciones y retroalimentación pueden influir en los sentimientos de competencia. Sin embargo, es la retroalimentación positiva la que promueve la autonomía personal y proporciona elección y oportunidades para la autodirección (Rodríguez et al., 2021).

La percepción de los estudiantes sobre la evaluación revela la necesidad de reinventar los métodos evaluativos, sincronizándolos con los planteamientos de la neurociencia (Calatayud, 2018). Los docentes son parte esencial del proceso educativo y deben obtener una comprensión clara sobre los aspectos a evaluar. Técnicas centradas en la memorización de detalles con poca relevancia para la vida diaria limitan la expresión libre de los estudiantes. En cambio, evaluaciones que incluyan interpretación, comparación, análisis, síntesis y explicación de información crean un ambiente propicio para que los estudiantes demuestren sus habilidades cognitivas y conocimientos adquiridos (Bueno, 2021).

La evaluación formativa basada en la neurociencia fomenta la participación de educadores y educandos a través de la autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación. Esta práctica se fundamenta en la capacidad del cerebro de adaptarse y modificar sus conexiones neuronales, en vista de que incorpora experiencias previas con nuevos conocimientos para otorgarles sentido y aplicabilidad en contextos específicos. En este marco, el estudiante ocupa un rol central al participar activamente en su proceso evaluativo (Calatayu, 2018).

La autoevaluación, clave en este proceso, facilita la autorregulación y permite a los estudiantes monitorear su propio aprendizaje, al identificar tanto sus fortalezas como áreas de mejora. Este ejercicio fortalece las habilidades del pensamiento crítico, factores motivacionales, adherencia a hábitos de estudio, y en niños pequeños resalta el desarrollo de responsabilidad y autocontrol. En tanto que, la heteroevaluación, por su parte, permite identificar áreas de mejora y fortalecer, desde la perspectiva de un evaluador externo al aprendiz, como docentes o actores capacitados en la materia (Lobo y Fernández, 2022).

Según Asiúet et al. (2021), la evaluación formativa permite a estudiantes y docentes reflexionar y mejorar su práctica pedagógica. Los docentes pueden evaluar qué estrategias de enseñanza son efectivas y cuáles necesitan ajustes. Durante la retroalimentación a los estudiantes, se identifican áreas de mejora y se desarrollan nuevas estrategias para apoyar su aprendizaje. La evaluación, en el contexto del entorno del individuo, se enfoca en el desarrollo de habilidades y considera el conocimiento como un recurso dinámico para abordar situaciones problemáticas. Este enfoque prioriza los procesos y adapta los métodos a las necesidades específicas de formación.

Dentro del marco de la evaluación formativa, Hreilikh y Vydolob (2021) destacan cuatro aspectos esenciales para los educadores. Primero, los maestros deben considerar las aulas como entornos que abarcan aspectos sociales y académicos para entender las características personales, lingüísticas, culturales y emocionales de los estudiantes, así como sus necesidades educativas. Segundo, los docentes deben tomar decisiones informadas sobre estrategias de enseñanza y métodos pedagógicos. Tercero, es necesario abordar las necesidades individuales de cada alumno de manera personalizada para reconocer y responder adecuadamente a sus características particulares. Finalmente, se destaca que los educadores también deben actuar como aprendices y promover un entorno de aprendizaje interactivo y colaborativo.

Según Cruzado (2022), la evaluación formativa actúa como reguladora e indicando si existe alineación entre el alumno, el plan de estudios y el docente. En caso contrario, se necesita revisar el proceso educativo para obtener mejores resultados en el aprendizaje global.

Según Albanese y Compagno (2023), la observación sistemática emerge como un método esencial para comprender las complejas dinámicas individuales y grupales que caracterizan los procesos de aprendizaje y enseñanza. Utiliza herramientas estructuradas como cuadrícula u observación sistemática que garantiza una recopilación meticulosa de datos. Este enfoque dota a la observación de una mirada intencionada y consciente.

Las funciones identificadas de la observación destacan su papel en los contextos educativos: descripción para captar matices situacionales (función descriptiva), intervención basada en percepciones observadas (función formativa), evaluación para valorar el progreso (función evaluativa), formulación de hipótesis para la exploración (función heurística), y verificación de hipótesis y medición de variables (función de verificación).

Siguiendo el camino de la neurociencia, se han desarrollado técnicas de evaluación mediante la captura de la actividad eléctrica cerebral a través del electroencefalograma, por ello, se vuelve posible medir estados mentales o emocionales como el compromiso, la relajación, el enfoque, el estrés y la excitación. Se ofrece una métrica del desempeño cognitivo en tiempo real durante la realización de actividades educativas. Esta metodología ayuda a comprender cómo el cerebro procesa y responde a la información, asimismo, sabe identificar estados de atención y emocionales asociados con patrones específicos de ondas cerebrales.

La observación de estados mentales cognitivos en participantes ha revelado variaciones en enfoque, atención, compromiso, estrés y relajación durante diversas actividades, lo que refleja la adaptación a diferentes niveles de dificultad en tareas y evaluaciones. Estos estudios ayudan en la comprensión del uso eficaz de herramientas virtuales. El monitoreo de la actividad cerebral mediante electroencefalografía durante simulaciones virtuales puede ofrecer valiosas perspectivas sobre los procesos cognitivos en curso (Cardoso et al., 2024).

Las simulaciones y prácticas virtuales pueden inducir respuestas y activar áreas cerebrales específicas, neurotransmisores y modos de almacenamiento del conocimiento que intervienen en el proceso de aprendizaje. Identificar mecanismos para monitorear estos procesos desde una perspectiva neuroeducativa ayuda a entender las actividades cerebrales estimuladas por los recursos tecnológicos desarrollados y evaluar su efectividad (Xu & Zhong, 2018).

Un estudio realizado por Cancino (2019) implementó la evaluación formativa para obtener una visión más completa del proceso de aprendizaje de los estudiantes en varias dimensiones. Se llevó a cabo un seguimiento continuo del proceso de enseñanza-aprendizaje mediante preguntas abiertas, que fomentaron la participación activa de los alumnos. Esta metodología permitió adaptar la enseñanza a las necesidades específicas del grupo, utilizó la retroalimentación y el diálogo entre el profesor y los estudiantes, así como entre los propios alumnos.

Importancia de la Retroalimentación Constructiva

En concordancia con la neurociencia y la retroalimentación, surge el Neurofeedback, una herramienta que registra la actividad cerebral del paciente y proporciona retroalimentación en tiempo real sobre esta actividad. Este enfoque se basa en dos premisas principales: primero, que influir directamente en una región cerebral específica puede tener efectos observables y controlables sobre el comportamiento; segundo, que la cognición puede mejorarse mediante el control directo sobre los procesos cerebrales internos, siempre que se tenga acceso a estos datos en tiempo real (Loriette et al., 2021).

Existen varios tipos de retroalimentación, la primera que es la retroalimentación activa y constructiva, incluye respuestas positivas, tanto verbales como no verbales, que refuerzan el aprendizaje. La segunda, que es la retroalimentación positiva y constructiva, proporciona apoyo positivo de manera más reservada. La tercera, que es la retroalimentación activa y destructiva, involucra críticas y gestos negativos que pueden desmotivar. Y la cuarta, la retroalimentación pasiva y destructiva, las respuestas del maestro carecen de compromiso activo (Masantiah et al., 2020).

Estos tipos de retroalimentación varían según la tarea asignada, el entorno del aula y la dinámica del grupo estudiantil (Masantiah et al., 2020). La investigación realizada por Carlton y Chen (2021) sobre la retroalimentación constructiva incluyó entrevistas grupales con estudiantes universitarios para explorar cómo perciben este proceso. A partir de las percepciones de los receptores, se desarrolló un modelo cualitativo que resalta las dinámicas relacionales asociadas con una retroalimentación efectiva. Se subraya la importancia de que la retroalimentación sea bien intencionada y dirigida adecuadamente al estudiante, proporcionando estrategias específicas para la mejora. Al internalizar estos aspectos y manejar los factores emocionales y motivacionales involucrados, el estudiante puede implementar la retroalimentación de manera constructiva.

Se descubrió que la relación entre la retroalimentación y la autoeficacia es bidireccional: la retroalimentación informa sobre la autoeficacia y se interpreta de manera diferente según el nivel de autoeficacia del estudiante. Los estudiantes con alta autoeficacia pueden ver la retroalimentación crítica como un desafío para mejorar, mientras que aquellos con baja autoeficacia pueden sentirse desmotivados por la retroalimentación negativa, afectando su confianza y rendimiento académico (Wu & Schunn, 2020).

Un estudio realizado por Pangastuti et al. (2022) investigó la implementación y percepción de un modelo de retroalimentación en un entorno educativo basado en el modelo de Mubuuke et al. (2016), específicamente en el contexto del Aprendizaje Basado en Problemas. Se examinaron las opiniones de estudiantes y tutores sobre cómo dicho modelo afectó el aprendizaje y el desarrollo de habilidades. Se destacaron aspectos como los cambios cognitivos y conductuales observados entre los participantes, así como los desafíos en la aplicación efectiva del modelo, tales como la disponibilidad de datos de retroalimentación, la adaptabilidad del modelo, y las características y expectativas tanto de estudiantes como de tutores. Se concluyó que la retroalimentación constructiva contribuye significativamente a la mejora del proceso de aprendizaje, enfocándose en habilidades generales como la comunicación, el trabajo en equipo y la autoevaluación.

Es fundamental que todos los educadores comprendan qué implica la retroalimentación y cómo brindar retroalimentación efectiva y constructiva. Esta no debe centrarse en la personalidad del estudiante, sino en reconocer los logros positivos y los comportamientos exitosos que deben continuar. Los maestros deben utilizar estrategias y técnicas apropiadas para ofrecer retroalimentación constructiva (Maslova et al., 2022).

La retroalimentación escrita es una herramienta valiosa para proporcionar comentarios detallados sobre el rendimiento de los estudiantes en exámenes y evaluaciones. Esta forma de retroalimentación ayuda en la mejora continua, ya que permite a los estudiantes comprender sus fortalezas y áreas de mejora. Además, se ha observado que la evaluación formativa y la retroalimentación mejoran la calidad de la enseñanza en el aula y permiten a los profesores ajustar su enseñanza y ofrecer apoyo adicional a los estudiantes que lo necesiten (Cáceres & Tapia, 2021).

La investigación de Al-Hattami (2019) exploró cómo maestros y estudiantes perciben la importancia de proporcionar y recibir retroalimentación constructiva y cómo este tipo de retroalimentación impacta positivamente en el rendimiento académico. Se encontró que tanto maestros como estudiantes reconocen la necesidad de la retroalimentación para un aprendizaje efectivo. Esta permite ajustar el proceso de enseñanza, brindando apoyo adicional y mejorando el desarrollo académico de los estudiantes. La retroalimentación puede provenir de diversas formas de evaluación, como pruebas, proyectos y tareas. Su efectividad depende de la claridad de los objetivos de aprendizaje y del uso de herramientas como rúbricas para evaluar el desempeño estudiantil de manera precisa y constructiva.

Capítulo 4: Estrategias Educativas Basadas en la Neurociencia

Tipos de Memoria y funcionamiento

La memoria se clasifica en varios tipos, cada uno con funciones y características específicas. A continuación se describen los principales tipos de memoria y su funcionamiento.

1. Memoria Sensorial

La memoria sensorial es la primera etapa del proceso de memoria, donde la información sensorial se retiene por un corto período (generalmente menos de un segundo). Esta memoria permite que los estímulos sensoriales, como imágenes o sonidos, sean registrados brevemente antes de ser procesados más profundamente.

2. Memoria a Corto Plazo

También conocida como memoria de trabajo, esta forma de memoria permite retener información de manera temporal y activa para su manipulación. Tiene una capacidad limitada (generalmente entre 5 y 9 elementos) y se utiliza para tareas como el cálculo mental o la comprensión de textos. La memoria de trabajo es crucial para funciones ejecutivas, como la atención y la inhibición, y se ha demostrado que su deterioro puede afectar el rendimiento académico y cotidiano.

3. Memoria a Largo Plazo

La memoria a largo plazo almacena información de manera más permanente y se divide en dos subtipos principales:

Memoria declarativa (Explícita): Incluye la memoria episódica, que se refiere a la capacidad de recordar eventos específicos y experiencias personales, y la memoria semántica, que abarca el conocimiento general sobre el mundo, como hechos y conceptos. La memoria episódica tiende a deteriorarse con la edad, mientras que la memoria semántica puede permanecer más intacta en algunos individuos.

Memoria no declarativa (Implícita): Esta forma de memoria incluye habilidades y hábitos, como montar en bicicleta o tocar un instrumento musical, que se adquieren a través de la práctica y no requieren un esfuerzo consciente para recordar.

Funcionamiento de la memoria

El funcionamiento de la memoria implica varios procesos cognitivos:

Codificación: La información se transforma en un formato que puede ser almacenado.

Almacenamiento: La información codificada se guarda en la memoria a corto o largo plazo.

Recuperación: Es el proceso de acceder a la información almacenada cuando se necesita.

La memoria de trabajo juega un papel crucial en la recuperación de información y en la ejecución de tareas cognitivas complejas. Su deterioro puede estar asociado con trastornos como el TDAH, donde se observan dificultades en la atención y la flexibilidad cognitiva.

En resumen, los diferentes tipos de memoria y su funcionamiento son fundamentales para el aprendizaje y la adaptación en la vida diaria, y su estudio es esencial para comprender cómo los individuos procesan y utilizan la información.

El Papel de las Emociones en el Aprendizaje

Las emociones juegan un papel crucial en el proceso de aprendizaje, influyendo en cómo los estudiantes adquieren y retienen información. A continuación se presentan algunos hallazgos clave sobre la relación entre emociones y aprendizaje.

Emociones positivas y aprendizaje: Las emociones beneficiosas, como la alegría y la curiosidad, pueden mejorar la motivación y facilitar un aprendizaje más efectivo. Un estudio sobre el aprendizaje informal en Biología destacó la importancia de promover emociones positivas en la formación docente, sugiriendo que estas emociones ayudan a los educadores a reflexionar sobre sus experiencias y su papel en el aprendizaje de los estudiantes.

Emociones negativas y su impacto: Las emociones negativas, como la frustración y el nerviosismo, pueden tener efectos contradictorios. Por ejemplo, un estudio con futuros maestros mostró que la frustración limita el aprendizaje, mientras que el nerviosismo puede actuar como un estimulante, favoreciendo el rendimiento en ciertas situaciones. Esto sugiere que la forma en que se experimentan y gestionan las emociones puede determinar su impacto en el aprendizaje.

Contexto cultural y emociones: El contexto cultural también influye en las emociones relacionadas con el aprendizaje. Un análisis en el ámbito de la Educación Física reveló que significados culturales asociados al género y al nivel socioeconómico afectan la disposición emocional de los estudiantes, lo que a su vez impacta su aprendizaje motor. La comprensión de estas dinámicas puede ayudar a los educadores a optimizar el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Impacto de la pandemia: La pandemia de COVID-19 ha resaltado la importancia de considerar las emociones en el aprendizaje. Un estudio centrado en estudiantes universitarios durante este período encontró que las desigualdades socioculturales afectan las percepciones emocionales y, por ende, el aprendizaje. Los estudiantes con diferentes volúmenes de capital cultural y económico mostraron variaciones en su atención a los problemas emocionales, lo que impactó su experiencia educativa.

Conclusiones

La relación entre emociones y aprendizaje es compleja y multifacética. Las emociones no solo afectan la motivación y la capacidad de retención de información, sino que también están influenciadas por contextos culturales y sociales. Para optimizar el aprendizaje, es fundamental que los educadores reconozcan y gestionen las emociones de los estudiantes, promoviendo un ambiente que favorezca tanto el bienestar emocional como el aprendizaje efectivo.

Estrategias para Gestionar Emociones en el Aula

Identificación y expresión de Emociones: Fomentar que los estudiantes reconozcan y expresen sus emociones es fundamental. Esto puede incluir actividades donde los alumnos compartan cómo se sienten en diferentes situaciones, lo que ayuda a crear un ambiente de apoyo y comprensión mutua.

Dramatización: Utilizar técnicas de dramatización permite a los estudiantes explorar y representar emociones en un contexto seguro. Esta estrategia no solo facilita la comprensión emocional, sino que también promueve la empatía y la comunicación entre compañeros.

Auto-regulación emocional: Enseñar a los estudiantes técnicas de auto-regulación, como la respiración profunda o la meditación, puede ayudarles a manejar sus emociones de manera más efectiva. Estas habilidades son cruciales para que los alumnos aprendan a calmarse y concentrarse en su trabajo.

Resolución de conflictos: Implementar métodos para resolver conflictos en el aula, como el diálogo y la mediación, puede ayudar a los estudiantes a manejar sus emociones en situaciones de tensión. Esto fomenta un ambiente de respeto y colaboración.

Fomento del buen trato: Promover un ambiente de respeto y buen trato entre los estudiantes puede tener un impacto positivo en su bienestar emocional. Esto incluye establecer normas claras sobre el comportamiento y el respeto mutuo.

Capacitación docente: Es esencial que los educadores reciban formación en educación emocional para que puedan implementar estas estrategias de manera efectiva. La falta de formación puede limitar la capacidad de los docentes para abordar las emociones en el aula.

Actividades de reflexión: Incorporar momentos de reflexión en la rutina diaria, donde los estudiantes puedan pensar sobre sus emociones y experiencias, puede ayudar a consolidar el aprendizaje emocional y fomentar un ambiente de auto-conocimiento.

Conclusiones

La gestión de las emociones en el aula es un aspecto clave para el desarrollo integral de los estudiantes. Implementar estrategias que fomenten la identificación, expresión y regulación de emociones no solo mejora el clima escolar, sino que también contribuye al aprendizaje efectivo y al bienestar emocional de los alumnos. La capacitación continua de los docentes en estas áreas es fundamental para el éxito de estas iniciativas.

La motivación y las recompensas son factores clave en el proceso de aprendizaje, ya que pueden influir significativamente en el interés y el compromiso de los estudiantes. Algunas estrategias para fomentar la motivación y el uso de recompensas en educación incluyen:

Motivación intrínseca y extrínseca

Promover la motivación intrínseca: Fomentar el interés y la curiosidad innata de los estudiantes por aprender, de modo que estudien por el placer y la satisfacción que les produce el aprendizaje en sí mismo.

Utilizar recompensas extrínsecas con cuidado: Las recompensas externas como calificaciones, premios o regalos pueden ser útiles para motivar a los estudiantes, pero deben usarse con moderación para evitar que se vuelvan dependientes de ellas.

Estrategias motivacionales

Establecer metas alcanzables: Ayudar a los estudiantes a establecer objetivos de aprendizaje claros y realistas, lo que les dará un sentido de progreso y logro.

Proporcionar retroalimentación positiva: Elogiar y reconocer los esfuerzos y logros de los estudiantes para reforzar comportamientos deseables y aumentar su autoconfianza.

Fomentar la autonomía: Dar a los estudiantes opciones y oportunidades para tomar decisiones sobre su aprendizaje, lo que aumentará su motivación intrínseca.

Utilizar la gamificación: Incorporar elementos de juego, como puntos, insignias y tablas de clasificación, para hacer que el aprendizaje sea más emocionante y motivador.

Consideraciones Importantes

Evitar enfoques didácticos tradicionales y retrasos en la entrega de calificaciones, ya que pueden tener un impacto negativo en la motivación de los estudiantes.

Tener en cuenta los significados culturales asociados al género y al nivel socioeconómico, ya que pueden afectar la disposición emocional de los estudiantes y, por lo tanto, su motivación y aprendizaje.

En resumen, fomentar la motivación intrínseca, usar recompensas extrínsecas con moderación y aplicar estrategias como establecer metas alcanzables, proporcionar retroalimentación positiva, promover la autonomía y utilizar la gamificación pueden ser enfoques efectivos para mejorar la motivación y el aprendizaje de los estudiantes

Estrategias para fomentar la motivación Intrínseca

Para fomentar la motivación intrínseca en el aula, es esencial implementar una variedad de técnicas que promuevan el interés y la autonomía de los estudiantes. A continuación se presentan algunas estrategias efectivas basadas en los hallazgos de investigaciones recientes.

Promover la Autonomía: Permitir que los estudiantes tomen decisiones sobre su aprendizaje, como elegir temas de proyectos o métodos de evaluación, fomenta un sentido de control y propiedad sobre su educación. Esta autonomía está vinculada a un mayor compromiso y satisfacción en el aprendizaje.

Establecer Metas Significativas: Ayudar a los estudiantes a establecer objetivos de aprendizaje claros y alcanzables puede aumentar su motivación intrínseca. Cuando los alumnos ven el valor y la relevancia de lo que están aprendiendo, se sienten más motivados para involucrarse.

Utilizar Actividades Interactivas: Incorporar métodos de enseñanza que involucren a los estudiantes de manera activa, como debates, proyectos grupales y actividades prácticas, puede aumentar su

interés y compromiso. Las actividades interactivas permiten que los estudiantes experimenten el aprendizaje de manera dinámica y participativa.

Fomentar la Autoevaluación: Permitir que los estudiantes reflexionen sobre su propio aprendizaje y evalúen su progreso puede aumentar su autoconciencia y motivación. La autoevaluación les ayuda a identificar sus fortalezas y áreas de mejora, lo que refuerza su sentido de competencia.

Implementar Gamificación: Incorporar elementos de juego en el proceso educativo, como puntos, insignias y desafíos, puede hacer que el aprendizaje sea más atractivo y divertido. La gamificación no solo motiva a los estudiantes, sino que también promueve un aprendizaje activo y colaborativo.

Crear un Ambiente de Apoyo: Fomentar un clima de aula positivo y de apoyo donde los estudiantes se sientan seguros para expresar sus ideas y emociones es fundamental. Un ambiente de respeto y colaboración puede aumentar la motivación intrínseca al hacer que los estudiantes se sientan valorados y comprendidos.

Conectar el Aprendizaje con la Vida Real: Relacionar los contenidos educativos con situaciones y problemas del mundo real puede aumentar la relevancia del aprendizaje para los estudiantes. Esto no solo despierta su interés, sino que también les ayuda a ver el propósito detrás de lo que están aprendiendo.

Conclusiones

Fomentar la motivación intrínseca en el aula es crucial para el éxito educativo. Al implementar estrategias que promuevan la autonomía, establezcan metas significativas, utilicen actividades interactivas, fomenten la autoevaluación, incorporen gamificación, creen un ambiente de apoyo y conecten el aprendizaje con la vida real, los educadores pueden ayudar a los estudiantes a desarrollar un amor por el aprendizaje y un compromiso duradero con su educación.

Técnicas para fomentar la motivación extrínseca

Para fomentar la motivación extrínseca en el contexto educativo, se pueden implementar diversas técnicas que refuercen el interés y el compromiso de los estudiantes a través de incentivos externos. A continuación se presentan algunas estrategias efectivas.

Recompensas Tangibles: Ofrecer incentivos físicos, como premios, certificados o materiales escolares, puede motivar a los estudiantes a alcanzar objetivos específicos. Estas recompensas deben ser significativas y relevantes para el grupo de estudiantes.

Reconocimiento público: Celebrar los logros de los estudiantes en público, ya sea a través de menciones en clase, tabloneros de anuncios o ceremonias, puede aumentar su motivación. El reconocimiento social es un poderoso motivador que refuerza el comportamiento positivo.

Competencias y desafíos: Organizar competencias amistosas o desafíos académicos puede estimular la motivación extrínseca. Los estudiantes tienden a esforzarse más cuando hay un objetivo claro y recompensas asociadas a su rendimiento.

Feedback constructivo: Proporcionar retroalimentación regular y positiva sobre el desempeño de los estudiantes puede motivarlos a mejorar. La retroalimentación debe ser específica y orientada a los logros, destacando las áreas en las que han tenido éxito.

Gamificación: Incorporar elementos de juego en el aprendizaje, como puntos, niveles e insignias, puede hacer que las tareas sean más atractivas. La gamificación no solo motiva a los estudiantes a participar, sino que también les proporciona un sentido de logro al completar desafíos.

Metas y objetivos claros: Establecer metas específicas y alcanzables para los estudiantes les proporciona un sentido de dirección y propósito. Al alcanzar estas metas, los estudiantes pueden recibir recompensas que refuercen su motivación.

Uso de herramientas digitales: Implementar herramientas digitales que ofrezcan recompensas virtuales o logros puede ser efectivo, especialmente en un entorno educativo moderno. Estas herramientas pueden hacer que el aprendizaje sea más interactivo y divertido, aumentando la motivación extrínseca de los estudiantes.

Consideraciones finales

Es importante equilibrar la motivación extrínseca con la intrínseca para evitar que los estudiantes se vuelvan dependientes de recompensas externas. Las técnicas mencionadas pueden ser efectivas, pero deben ser implementadas de manera que también fomenten el interés y la curiosidad natural de los estudiantes por aprender.

Capítulo 5 Aplicaciones y Futuro de la Neuroeducación

Aplicaciones Prácticas en el Aula

La neuroeducación, al integrar neurociencia, psicología y educación, efectivamente transforma la práctica pedagógica al ofrecer un enfoque más complejo y basado en la comprensión del funcionamiento cerebral. Mendoza y Martínez (2020) destacan cómo esta disciplina permite adaptar las estrategias educativas a las necesidades neurológicas y psicológicas de los estudiantes, mejorando así la eficacia del proceso de aprendizaje.

Además, la neurociencia ha aportado conocimientos valiosos sobre el desarrollo cognitivo y las dificultades específicas como la dislexia y la discalculia, permitiendo diseñar intervenciones más precisas y efectivas. La neuroeducación no solo optimiza las prácticas existentes, sino que también fomenta la creación de nuevas metodologías que responden mejor a las necesidades individuales y colectivas de los estudiantes (Thomas & Ansari, 2020).

La implementación de programas y prácticas basadas en la neuroeducación ha mostrado ser una estrategia efectiva para mejorar el aprendizaje y el desarrollo de los estudiantes. A continuación, se presentan algunos ejemplos de iniciativas exitosas en este ámbito. Primero, la formación docente en neuroeducación en España. Un estudio de Caballero-Cobos y Llorent (2022) evaluó un programa de formación docente en neuroeducación aplicado en tres colegios en España. El diseño cuasiexperimental involucró a 209 estudiantes de secundaria, y los resultados demostraron mejoras significativas en competencias lectoras, matemáticas y socioemocionales en el grupo experimental en comparación con el grupo control. Este estudio destaca el potencial del enfoque neuroeducativo para mejorar tanto las competencias académicas como las socioemocionales de los estudiantes.

Segundo, la incorporación de la neuroeducación en Ecuador, en este sentido, la investigación de Álava et al. (2024) exploró las percepciones de los estudiantes de Educación en la Universidad Estatal del Sur de Manabí sobre la neuroeducación. Los resultados indicaron que el 65% de los estudiantes considera que la neuroeducación debería ser un componente obligatorio en sus programas de estudio. Los estudiantes mostraron expectativas positivas sobre cómo el conocimiento del cerebro podría mejorar su futura labor docente, lo que sugiere una creciente conciencia de la importancia de la neurociencia en la formación docente. Esto podría influir en las políticas educativas para promover la inclusión de la neuroeducación en la formación inicial de docentes.

Tercero, la presencia de la neuroeducación en programas de formación en México, Díaz-Cabrales (2021) revisó 2,891 programas de formación docente en México y encontró que solo el 12% de estos programas incluían materias de neuroeducación. La mayoría de los cursos se centraban en neurociencia y neuropsicología, mientras que neuropedagogía y neurodidáctica estaban significativamente menos representadas. Esta investigación muestra la necesidad de actualizar los currículos educativos para integrar más cursos específicos sobre neuroeducación, asegurando así que los futuros docentes estén mejor preparados con conocimientos basados en la neurociencia.

Mamani Coaquira et al. (2021) examinaron la relación entre la neuroeducación y el desempeño docente desde la perspectiva de los estudiantes de la Escuela Profesional de Educación Primaria de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. Se empleó una metodología cuantitativa con un diseño transeccional correlacional-causal, se analizaron las percepciones y valoraciones de los estudiantes a través de encuestas, evaluando cómo el conocimiento sobre el funcionamiento del cerebro impactaba en su formación y práctica docente. Este enfoque permitió revisar la influencia de la neuroeducación en la modernización de metodologías educativas y en la mejora de las prácticas pedagógicas.

Coral et al. (2021) llevaron a cabo una investigación sobre neuroeducación y aprendizaje significativo en Colombia, aplicando un diseño experimental en tres instituciones educativas: la Institución Educativa Ciudad de Ipiales, la Institución Educativa Municipal Libertad y el Centro Educativo El Campanero como grupo control. El objetivo fue evaluar el impacto de 24 talleres basados en neuroeducación, mediante el uso de la Batería Psicológica BAT-7 y la medición del rendimiento académico. Los resultados mostraron que los talleres favorecieron el aprendizaje al mejorar habilidades cognitivas como atención, concentración, memoria y percepción, integrando aspectos emocionales para promover un aprendizaje significativo. Los análisis estadísticos indicaron mejoras significativas en el rendimiento académico y en las aptitudes cognitivas de los estudiantes del grupo experimental en comparación con el grupo control.

Bazán (2022) investigó el efecto de un programa de estrategias didácticas basadas en neuroeducación en la construcción de modelos de programación lineal en estudiantes de la Universidad Nacional de Cajamarca. Utilizó un diseño no probabilístico, se dividieron 120 estudiantes en grupos control y experimental y se aplicaron instrumentos validados para evaluar el aprendizaje teórico y práctico. Los resultados demostraron una mejora estadísticamente significativa en la construcción de modelos de programación lineal en el grupo experimental. Las mejoras se observaron en la identificación de variables, definición de la función objetivo y manejo de restricciones, destacando la eficacia de la neuroeducación en la enseñanza de disciplinas técnicas y en la promoción de un aprendizaje más útil y aplicado en áreas complejas.

La investigación realizada por Paricahua-Peralta et al. (2023) emergió como resultado de las iniciativas de desarrollo profesional del proyecto "Evaluación del neurodesarrollo en niños/as cubanos/as de 6 a 18 años mediante la Bateria de Evaluación Neuropsicológica Computarizada Infantil BENCI" de la Facultad de Educación de la Universidad de Cienfuegos. Este proyecto condujo a la implementación de un diplomado de postgrado en Neurociencias y Educación en el ámbito educativo cubano. El objetivo principal fue describir y analizar la experiencia formativa ofrecida a un grupo diverso de más de 20 profesionales, incluidos pedagogos, psicólogos, logopedas, psicopedagogos y médicos. Los participantes valoraron positivamente la pertinencia y calidad de los contenidos y la preparación proporcionada por los instructores. La incorporación de la neurociencia en las prácticas educativas promovió un entorno favorable para el aprendizaje, mejoró las respuestas educativas y fortaleció las competencias profesionales. Los estudiantes expresaron una alta satisfacción con la formación recibida, destacando su impacto positivo en sus prácticas profesionales y su potencial para contribuir significativamente al contexto educativo cubano.

Por otro lado, Rodríguez y Almanza (2021) abordaron la integración de estrategias basadas en neuroeducación en programas de formación docente universitaria en la Facultad de Odontología de la Universidad del Zulia. El proyecto incluyó un plan de formación docente centrado en la implementación de estrategias neuroeducativas dentro del aula, destacando la importancia de la preparación y actualización continua del profesorado para fomentar la autonomía estudiantil. El enfoque mixto del estudio combinó técnicas cuantitativas y cualitativas y se estructuró en cuatro etapas: revisión de resultados previos, análisis de marcos teóricos relevantes, identificación de áreas clave para el cambio y formulación de estrategias alternativas. La implementación operativa del plan se dividió en tres fases: sensibilización inicial del cuerpo docente, ejecución de estrategias y evaluación crítica de la experiencia. El proyecto contribuyó a la actualización de los métodos de enseñanza del grupo docente.

La adhesión de la neuroeducación a la práctica pedagógica contribuye a mejorar la eficacia del proceso educativo. La transformación requerida por los profesores incluye la adaptación de métodos para aprovechar los avances en neurociencia, con la reflexión constante, la autoevaluación y la autorregulación como pilares fundamentales. Estas prácticas permiten a los educadores optimizar sus estrategias didácticas y fomentar un aprendizaje más efectivo (Gómez, 2023). Los docentes pueden facilitar la autorregulación y la autoevaluación en los estudiantes mediante el uso de rúbricas detalladas, la enseñanza explícita de habilidades de autorregulación y la aplicación de retroalimentación formativa. Estas estrategias no solo permiten a los estudiantes gestionar su propio aprendizaje, sino que también promueven un ambiente educativo más dinámico y centrado en el desarrollo integral de competencias cognitivas y emocionales.

Nieves (2024) llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura sobre neuroeducación y su aplicación en la práctica pedagógica, con el fin de identificar avances y áreas que requieren mayor exploración. El análisis se basó en la recopilación exhaustiva de documentos científicos, revelando una predominancia de estudios cualitativos y una concentración significativa de investigaciones en países como Ecuador y España. La revisión destacó la creciente relevancia de la neurodidáctica, que promueve el uso de estrategias pedagógicas innovadoras, como la integración de música, artes visuales y motivación visual, para enriquecer la experiencia educativa. A pesar de los beneficios demostrados, persiste cierta resistencia al cambio en la adopción generalizada de prácticas neuroeducativas. Esta resistencia puede atribuirse a la falta de familiaridad con los principios neurocientíficos entre educadores, la reticencia a abandonar métodos tradicionales y la necesidad de capacitación y recursos adecuados para implementar nuevas estrategias.

Casos de Estudio y Experiencias Reales

Balanta Mera et al. (2022) llevaron a cabo una investigación enfocada en las representaciones sociales sobre la neuroeducación entre los profesores de primaria de una escuela en Angol, Región de la Araucanía, Chile. Los resultados del estudio indicaron que los docentes consideran beneficioso y necesario integrar la neuroeducación en sus sistemas de enseñanza. Los profesores creen que la conexión entre neurociencia y educación puede ser especialmente valiosa para estudiantes de contextos desfavorecidos, ya que puede mejorar sus resultados académicos y proporcionarles oportunidades para su desarrollo. La investigación, basada en la Teoría Fundamentada Constructivista y un estudio de caso instrumental, subraya la importancia de la neuroeducación en un entorno educativo que busca apoyar a personas en riesgo social.

Ávila y Romero (2022) señalan que la neuroeducación es esencial para facilitar la transferencia de conocimientos y el aprendizaje. Además, destacan la necesidad de incorporar lineamientos pedagógicos y metodológicos que estén alineados con la neuroeducación, con un enfoque particular en los aspectos emocionales y prácticos de la experiencia educativa de cada individuo. Este enfoque permite abordar diversos y complejos sistemas, incluyendo organizacionales, sociales, emocionales y educativos, contribuyendo al desarrollo integral de los estudiantes.

Rosa (2023), en su estudio realizado en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (México), demostró que la neuroeducación moral, combinada con el análisis metacognitivo sobre el innatismo moral, fortalece significativamente las competencias éticas y ciudadanas de los alumnos. Al comparar a estudiantes que participaron en *living labs* en comunidades indígenas de Chiapas con aquellos que recibieron clases tradicionales de ética, se observó que los primeros desarrollaron habilidades personales, interpersonales, profesionales y sociales de manera más efectiva. Este estudio sugiere que una educación ética basada en prácticas y emociones es más eficaz que los métodos tradicionales.

Martínez y Mackenzie (2024) concluyeron que incorporar diseños pedagógicos y didácticos micro curriculares basados en el aprendizaje en contexto permiten a los estudiantes involucrarse activamente y aplicar soluciones concretas a problemas reales. Se comprobó la viabilidad de intervenciones cortas con seguimiento adecuado en programas de postgrado, estableciendo lineamientos que aseguren la calidad educativa. La efectividad de estas intervenciones depende en gran medida de la disposición del docente para innovar, fomentar la reflexión y facilitar la integración de conocimientos a partir de análisis críticos de los estudiantes. Las barreras para la intervención y el co-diseño se pueden superar mediante el liderazgo dialógico, promoviendo la participación activa de la comunidad y el compromiso hacia un bien común. La implementación de estrategias metodológicas-didácticas asociadas al aprendizaje-servicio puede ser efectiva si se cuenta con un diseño instruccional adecuado y un seguimiento constante por parte del docente.

En el estudio de Llor-Llanos y Peña (2023), se exploró cómo los docentes del subnivel preparatorio de educación general básica en un centro educativo fiscal de Ecuador perciben y aplican la neuroeducación en sus prácticas pedagógicas. El enfoque del estudio fue interpretativo, con una metodología cualitativa y el método fenomenológico. Se realizaron entrevistas semiestructuradas a doce docentes, cuyas respuestas se categorizaron para identificar patrones comunes. Las categorías emergentes incluyeron *Neuroeducación como paradigma nuevo de enseñanza*, *Personalización de la educación* y *Estrategias didácticas centradas en el estudiante*, subdividida en *Impulso de la gestión emocional* y *Fomento de actividades artísticas*. Este enfoque destaca el potencial de la neuroeducación para transformar el proceso educativo hacia una orientación más humanista y centrada en el desarrollo integral de los estudiantes.

La triangulación teórica empleada en el estudio evidenció que los docentes consideran la neuroeducación como un conjunto de metodologías que fomentan la participación activa y creativa de los estudiantes. Estas metodologías se sustentan en el desarrollo de experiencias educativas que integran la inteligencia emocional, el juego y las artes, con el objetivo de mitigar cualquier estado emocional que pueda obstaculizar el aprendizaje integral de los alumnos. El estudio se llevó a cabo en la Unidad Educativa *John F. Kennedy* en Manabí, Ecuador, donde se identificó la necesidad de adoptar prácticas pedagógicas que no solo transmitan conocimientos académicos, sino que también promuevan el bienestar emocional y la creatividad de los estudiantes como componentes esenciales del proceso educativo (Llor-Llanos y Peña, 2023).

En el estudio de Gallardo et al. (2023), se buscó mejorar el aprendizaje significativo en la educación inicial en el Centro de Desarrollo Infantil Mundo de Ilusiones Guayas mediante la aplicación de la neuroeducación. Utilizando un enfoque mixto y descriptivo, el estudio se centró en la formación especializada de docentes en los fundamentos neurocientíficos del aprendizaje y sus aplicaciones prácticas en el aula. Los resultados resaltaron la importancia de esta formación para diseñar una guía didáctica con actividades específicas orientadas a desarrollar habilidades motoras gruesas, aprovechando los principios de la neuroeducación.

Desafíos y Limitaciones

En la actualidad, la neurociencia se reconoce como una necesidad para los estudiantes del siglo XXI, lo que subraya la importancia de comprender cómo funciona el cerebro humano, así como el procesamiento de sensaciones, emociones y comportamientos. No obstante, la falta de capacitación adecuada en estos temas para los docentes limita significativamente su intervención. Esta situación resalta la imperiosa necesidad de una alfabetización científica en neuroeducación, considerando tres fuentes esenciales: la filosofía educativa que guía el sistema educativo, el logro de capacidades acorde con el contexto histórico de los educandos, y el desarrollo cognitivo, inteligencia y aprendizaje (Díaz, 2021).

Aunque se han realizado numerosos estudios que correlacionan neurociencia y educación, a menudo se comete el error de aplicar metodologías neurocientíficas de manera directa en el ámbito educativo. Estas investigaciones suelen presentar enfoques reduccionistas que no toman en cuenta la brecha social y de clase, limitando su aplicabilidad a contextos diversos (Alargada & Beut, 2019).

Adicionalmente, es fundamental abordar los planteamientos éticos relacionados con la neuroeducación y la aplicación de avances científicos en el campo educativo. Se requiere un análisis exhaustivo de cómo las tecnologías emergentes se alinean con los objetivos éticos y humanistas de la educación, con el fin de apoyar una política concreta para una praxis escolar efectiva (Castillo, 2023).

También es necesario reconocer que la integración de las neurociencias en la educación enfrenta discrepancias entre el contexto controlado de la investigación y la complejidad de un aula real. La falta de investigación específica y la lentitud en los avances científicos a menudo conducen a una simplificación excesiva de los hallazgos, lo que puede resultar en malentendidos. Se requiere un mayor apoyo y colaboración interdisciplinaria para lograr resultados coherentes y aplicables (Bolaños, 2023).

Finalmente, existe una brecha entre las ciencias y las humanidades, cuestionándose si la neurociencia puede abordar adecuadamente las ciencias sociales y humanidades. Se aboga por un diálogo interdisciplinario y un mayor reconocimiento mutuo entre estos campos para superar las limitaciones actuales y avanzar hacia una integración más efectiva y ética en el ámbito educativo (Gutiérrez, 2022).

Dificultades en la Implementación

Dentro de la implementación de conocimientos en neuroeducación, uno de los desafíos primordiales es la falta de capacitación adecuada de los docentes. Diversos estudios indican que muchos educadores carecen de una comprensión completa sobre el funcionamiento cerebral y cómo aplicar los principios neuroeducativos de manera efectiva en el aula. Aunque los profesores suelen tener un buen entendimiento del contexto de sus estudiantes, este conocimiento a menudo se limita a un área específica (Gutiérrez, 2022).

La neuroeducación, al ser un campo aún joven con grandes potencialidades, enfrenta múltiples retos para consolidarse como una disciplina madura. Aunque el aprendizaje es una parte especial de la educación, los objetivos sociales de la neuroeducación siguen siendo poco claros. Existe una tensión entre la búsqueda de la excelencia académica, medida a través de resultados internacionales, y la inclusión de individuos de contextos desfavorecidos, lo que a menudo excluye a grupos minoritarios o vulnerables (Vargas, 2018).

Entre los desafíos principales en la aplicación de la neuroeducación en aulas y escuelas se encuentran el cambio de paradigma educativo. La transición de modelos educativos tradicionales a enfoques basados en neurociencia puede generar conflictos ideológicos y resistencia al cambio. La aceptación o resistencia hacia estos nuevos paradigmas depende en gran medida de la disposición de los docentes a actualizarse mediante programas de formación en neuroeducación, así como de comprender las implicaciones académicas de estas nuevas políticas (Román & Poenitz, 2018).

Además, los docentes deben estar preparados para integrar tecnologías digitales en sus prácticas educativas. La capacidad para utilizar herramientas digitales para enseñar y atender factores biológicos como memoria, atención y solución de problemas es importante. Sin embargo, muchos profesores enfrentan dificultades para mantenerse al día con las actualizaciones tecnológicas y adaptar su enseñanza a las necesidades específicas de las nuevas generaciones (Torres, 2021).

En este sentido conviene mencionar que la comunicación y la educación son procesos interrelacionados que permiten la creación de un modelo educativo que integra las tecnologías de la información y la comunicación en sus prácticas. Este nuevo modelo debe distanciarse del enfoque tradicional, ya que los estudiantes actuales tienen características únicas que reflejan la realidad social de nuestra era. Incluso se señala que la escuela puede aprovechar la tecnología para crear recursos educativos audiovisuales que enriquezcan la enseñanza. Estos recursos deben ser breves, incluir elementos que capten y mantengan la atención, y fomentar la aplicación práctica de los contenidos (Acurio-Vizuete, 2023).

La investigación en neurociencia es extensa y compleja, abarcando tanto la estructura como el funcionamiento cerebral mediante técnicas de imagen. El análisis de neurociencia cognitiva revela cómo los mecanismos cerebrales subyacentes a comportamientos complejos, como el lenguaje y la toma de decisiones, están conectados con la neurociencia. Sin embargo, trasladar esta comprensión al ámbito educativo sigue siendo un desafío significativo (Jolles & Jolles, 2021).

Finalmente, los docentes deben desarrollar habilidades de liderazgo, colaboración y retroalimentación para fomentar la independencia mental y el conocimiento en los estudiantes. El proceso de aprendizaje es bidireccional, requiriendo una comunicación efectiva entre la adquisición y apropiación del conocimiento por parte del alumno, lo que subraya la importancia de una enseñanza que promueva la autonomía y el desarrollo integral del estudiante (Mefteh, 2024).

En resumen, la neurociencia educativa enfrenta diversos desafíos en su aplicación práctica debido a la diferencia entre los entornos controlados de investigación y el contexto real de la educación. Los procesos neurobiológicos, como la memoria, el lenguaje y el pensamiento complejo, se estudian en entornos muy específicos, como laboratorios, lo que a menudo resulta en metodologías artificiales que pueden no ser directamente aplicables a la vida cotidiana o al contexto educativo general (Díez & Gutiérrez-Fresneda, 2020).

Además, existe una falta de consenso sobre las dificultades del aprendizaje debido a la variabilidad y mezcla de información sobre trastornos y problemas diversos, sin una clasificación clara. Esto complica la formación de los educadores, quienes a menudo no están suficientemente capacitados en las bases biológicas del comportamiento y el aprendizaje (Figuroa & Farnum, 2020).

Los programas de formación inicial escolar, particularmente en educación especial y educación física, a menudo carecen de contenido relevante sobre estos temas, lo que puede llevar a una falta de preparación adecuada para abordar las necesidades educativas complejas (Girón & Gómez, 2023).

Aunque ha habido avances significativos en la comunicación interdisciplinaria entre neurociencia y educación, persistente en desafíos prácticos. La integración efectiva de la neuroeducación en el currículo educativo sigue siendo complicada debido a limitaciones metodológicas, como las adoptadas por las tecnologías contemporáneas que pueden ser materialistas o reduccionistas. Además, las disparidades conceptuales entre los campos de la educación y la neurociencia dificultan una integración sinérgica y eficaz (Bellido et al., 2017).

Críticas y Controversias

Según Jamaludín (2019), la neurociencia educativa enfrenta críticas significativas que afectan su aplicación y percepción en el ámbito educativo. Entre estas críticas destacan los neuromitos, conceptos y creencias erróneas sobre el funcionamiento del cerebro y la educación. Estos mitos persisten y afectan tanto a educadores como al público, a pesar de estar refutados por la evidencia científica actual. Ejemplos de estos neuromitos incluyen los supuestos beneficios de adoptar una mentalidad de crecimiento o adaptar los métodos de enseñanza según los estilos de aprendizaje individuales, aspectos que influyen en la práctica pedagógica sin respaldo sólido.

El fenómeno del *encanto seductor* de la neurociencia, donde la presentación visual de hallazgos mediante imágenes cerebrales influye en la percepción y aceptación de nuevas técnicas educativas, también es relevante. Sin embargo, este aspecto no constituye el núcleo esencial de la neurociencia educativa. Las críticas fundamentales del campo se centran en la pertinencia de la neurociencia para mejorar las prácticas educativas, la eficacia de sus métodos para el diagnóstico de trastornos y la capacidad para predecir diferencias individuales en el aprendizaje. Estas críticas resaltan la necesidad de una evaluación rigurosa y crítica de su aplicación en el entorno educativo.

Uno de los principales aportes de la neuroeducación es su capacidad para personalizar la enseñanza, adaptándola a las necesidades individuales y optimizando el desarrollo del potencial de cada estudiante. Incluye la atención a las diferencias funcionales y la potenciación de la creatividad. Por ende, los neuroeducadores se orientan a crear ambientes de aprendizaje inclusivos y estimulantes. Además, destacan en la consultoría para la implementación de proyectos educativos basados en evidencia científica, asegurando que las prácticas pedagógicas estén fundamentadas en los descubrimientos más recientes sobre el funcionamiento cerebral (Thomas & Ansari, 2020).

La relación entre funciones cognitivas específicas y las redes neuronales asociadas es una de las cuestiones más intrigantes en el ámbito de la educación. Por ejemplo, el vínculo entre la corteza prefrontal y la función ejecutiva, así como la asociación entre el procesamiento auditivo de la información léxica y la corteza prefrontal inferior, abre posibles oportunidades para intervenciones basadas en pruebas que ayuden a los estudiantes a mejorar sus capacidades cognitivas (Kwok et al., 2017).

Los avances actuales en neurociencia y las tecnologías asociadas tienen el potencial de revolucionar los *qué* y los *cómo* de la educación, ofreciendo nuevas vías para explorar la dimensión bioquímica del esfuerzo educativo. Los potenciales de la investigación aplicada a la educación son amplios, pero no deben enfocarse desde una perspectiva estrecha que estipule una influencia unidireccional, como la imposición de pruebas neurocientíficas sobre las prácticas en el aula. Por el contrario, la naturaleza del conocimiento en estos campos puede analizarse a través de las normas epistémicas que teorizan las características evolutivas del conocimiento. La educación desempeña un papel fundamental en la transferencia y el mantenimiento del conocimiento, y la investigación en inteligencia artificial y neurociencia devuelve su tecnología a las prácticas educativas (Dubinsky & Hamid, 2024).

Tendencias Emergentes y Futuras Investigaciones

En la actualidad, es necesario ajustar el sistema educativo para que sea más flexible y receptivo a las diferencias individuales en el desarrollo y aprendizaje. La idea es que una estructura escolar más ágil y personalizada puede proporcionar un entorno más efectivo para que los estudiantes desarrollen sus habilidades y conocimientos de manera que se alineen mejor con sus ritmos y estilos de aprendizaje. La reducción de la edad de inicio y el acortamiento de los años escolares pretenden crear un sistema que no sólo transmita conocimientos, sino que también potencie las capacidades prácticas y adaptativas de los estudiantes, preparándolos de manera más eficiente para los retos del mundo real (Sandrone & Carlson, 2021).

Además, seremos testigos de la descomoditización del conocimiento y las habilidades, que pasarán a definirse no sólo por lo que son o por cómo las personas poseen cualificaciones en función de su escolarización, sino por lo que las personas pueden hacer con estos tipos de conocimiento y habilidades en el mundo real y sus potenciadores. Esta evolución nos conducirá a un nuevo ámbito, en el que los enfoques tradicionales del aprendizaje y la ética tendrán una aplicabilidad limitada (Fleur et al., 2021).

La transición hacia este nuevo paradigma implicará una reevaluación de cómo entendemos y medimos el conocimiento y las habilidades. Ya no se valorarán únicamente los títulos académicos o las credenciales formales, sino también la capacidad de aplicar de manera efectiva este conocimiento y habilidades en contextos prácticos. Este cambio demandará que los pedagogos y las instituciones educativas adapten sus métodos de enseñanza y evaluación para preparar mejor a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo real, promoviendo un aprendizaje más dinámico y contextualizado. La educación deberá centrarse en desarrollar competencias prácticas que permitan a los estudiantes adaptarse y prosperar en un entorno en constante cambio, valorando no solo la adquisición de conocimientos, sino también su aplicación efectiva en situaciones reales (Fleur et al., 2021).

Perspectivas y Potencial de la Neuroeducación

La neurociencia educativa ha destacado su potencial en la detección precoz de dificultades de aprendizaje en los niños y ha enfrentado diversos retos en su desarrollo futuro. Según Jamaludin et al. (2019), aunque la investigación neurocientífica ha contribuido significativamente a la aplicación de metodologías de intervención específicas y eficientes, la colaboración con otros campos de estudio, como la investigación clínica y conductual, es fundamental para comprender de forma más holística los procesos de aprendizaje del desarrollo típico y atípico.

La integración de conocimientos provenientes de la neurociencia, junto con aportaciones de la investigación clínica y conductual, permitirá un abordaje más completo y efectivo de las dificultades de aprendizaje. Esto no solo ayudará en la detección precoz, sino que también facilitará el desarrollo de intervenciones más personalizadas y adecuadas a las necesidades individuales de cada niño. Al combinar estas disciplinas, se podrá obtener una visión más comprensiva de los procesos subyacentes en el aprendizaje, tanto en contextos típicos como atípicos, lo cual es esencial para el avance de la educación y la mejora de los resultados educativos a largo plazo.

Sin embargo, la ciencia básica enfrenta desafíos debido a la complejidad de los sistemas de aprendizaje del cerebro y los numerosos factores que influyen en su funcionamiento. Además, la traslación de estos conocimientos al aula también presenta complicaciones. La neurociencia educativa debe lidiar con la dificultad de comprender plenamente los sistemas de aprendizaje del cerebro y cómo estos se ven afectados por diversos factores. La aplicación práctica de estos conocimientos en el entorno escolar presenta sus propios desafíos. A pesar de estas dificultades, continuar con la investigación y el desarrollo en esta área puede revolucionar la enseñanza y mejorar los resultados educativos (Thomas et al., 2019).

Una ciencia educativa traslacional podría seguir un modelo similar al de la medicina, donde los descubrimientos de laboratorio se prueban inicialmente en estudios pequeños con humanos antes de pasar a ensayos clínicos más amplios. Este enfoque podría facilitar avances significativos en la educación, al igual que ha sucedido en la medicina en el último siglo. El ensayo controlado aleatorio se está trasladando a la neurociencia educativa, aunque enfrenta retos como la adaptación a contextos específicos y el control de variables, pero tiene el potencial de respaldar prácticas pedagógicas efectivas basadas en la evidencia (Brookman-Byrne & Thomas, 2018).

La neurociencia educativa también debe abordar nuevas cuestiones éticas, dado su objetivo de mejorar las capacidades cognitivas y no cognitivas de los niños. Aunque este es el propósito de la educación y se aplican diversas técnicas en las aulas, el enfoque en menores implica la aplicación de principios éticos más estrictos. Por ejemplo, surgen dilemas éticos al utilizar medidas predictivas de resultados educativos que pueden tener implicaciones a largo plazo, sin el consentimiento del niño. Además, la investigación en este campo ha estado mayormente limitada a países desarrollados, mientras que, en el mundo en desarrollo, los resultados educativos están más influidos por factores

sociales y nutricionales, lo que demanda una comprensión más amplia que incluya aspectos sociales y políticos. Finalmente, la neurociencia educativa debe considerar cómo integrar el creciente interés de los responsables políticos en las pruebas neurocientíficas dentro de la formulación de políticas educativas (Churches et al., 2017).

En el libro *Moral Neuroeducation for a Democratic and Pluralistic Society* de Calvo & Gracia-Calandín (2019), se subraya que la moral ha sido un campo poco estudiado en comparación con otras áreas del aprendizaje humano, como la educación, la economía o la política. Los autores desarrollan un concepto ético discursivo y cordial, adecuado tanto para el desarrollo teórico como práctico de la neuroeducación moral. Este enfoque propone directrices para diseñar un modelo educativo que, fundamentado en la neuroeducación moral, aspire a abordar problemas sociales y eliminar comportamientos indeseables, tales como el discurso de odio, la corrupción, la intolerancia, el nepotismo, la aporofobia y la xenofobia. Además, se ha formulado un enfoque de gestión para implementar este modelo educativo en diversas áreas relacionadas con el desarrollo social y humano. Este enfoque es particularmente relevante para estudiantes, educadores e investigadores en filosofía moral, ética aplicada y disciplinas interrelacionadas que trabajan con la noción de reciprocidad, como la economía, la política y la salud. Así, la neuroeducación moral se presenta como una herramienta poderosa para fomentar una sociedad más ética y pluralista.

Capítulo 6: Consideraciones Neuroanatómicas

La especialización funcional hemisférica del lenguaje es asimétrica y se asienta en el hemisferio izquierdo. Los sonidos, mensajes y todo lo relacionado con el lenguaje van a estar en las áreas 41 y 42 de Brodman del hemisferio izquierdo. Cuando alguna de las zonas dedicadas al lenguaje sufre un daño se provoca una afasia. Pero no todas las áreas tienen la misma finalidad y por tanto los daños son muy distintos en función de la situación de la lesión. De manera general se puede distinguir unas zonas principales inmersas en la realización del lenguaje, siendo las más importantes: Área de Broca (decodificación del habla y memoria de trabajo verbal); Área de Wernicke (procesamiento de oraciones y discurso); Área motora (control de movimientos voluntarios de los músculos); Córtex auditivo y córtex visual (captan los estímulos externos del lenguaje oral o escrito); y, Fascículo arqueado (conjunto de fibras que relacionan las áreas del lenguaje). El lenguaje oral humano tiene función simbólica o semiótica, es una herramienta para la actividad intelectual, para la comunicación y organización de los procesos mentales humanos, por esto un daño en esta capacidad, incide en el resto de las aptitudes del sujeto desde la interacción con el medio hasta el desarrollo intelectual adecuado.

La afasia es un trastorno complejo, pues dependiendo del tipo, se ve influido uno u otro aspecto del lenguaje, partiendo de su etiología o de su clínica pues presenta un conjunto de síntomas extremadamente complejos que afectan a todos los aspectos del lenguaje y aparecen asociados a otros trastornos evolutivos que repercuten directamente en el aprendizaje y por ende en el rendimiento académico del estudiante.

Pero no todas las áreas tienen la misma finalidad y por tanto los daños son muy distintos en función de la situación de la lesión. De forma general podemos distinguir unas zonas principales inmersas en la realización del lenguaje, a continuación las más importantes:

Área de Broca:

Esta región está implicada principalmente en la planificación y programación fonológica; contiene los patrones motores del habla y desde aquí se proyectan las órdenes a la corteza premotora adyacente, a la corteza motora y a los músculos del mecanismo bucofonatorio. Esta área se activa incluso en tareas en las que no se requiere explícitamente respuesta oral, ya que está relacionada con la decodificación del habla y la memoria de trabajo verbal.

Área de Wernicke:

Esta región es responsable del análisis de los estímulos auditivos, la transformación de las secuencias auditivas y el acceso a las representaciones de las palabras y su significado. También interviene en el procesamiento de oraciones y del discurso.

Área motora:

Está relacionada con el control de movimientos voluntarios de los músculos en el lado del cuerpo opuesto al hemisferio en cuestión, enviando sus mensajes a los músculos a través del sistema piramidal.

Cortex auditivo y cortex visual:

Captan los estímulos externos del lenguaje oral o escrito que envían su información al hemisferio izquierdo para ser analizado por las zonas del lenguaje.

Fascículo arqueado:

Conjunto de fibras que pone en relación las áreas del lenguaje para hacer llegar la información de unas a otras.

La comunicación representa la capacidad de transmisión de información. El ser humano transmite información de distinta naturaleza y a través de distintos sistemas. El lenguaje oral humano como forma o conducta de la función simbólica o semiótica ha sido definido de distintas maneras. Una definición completa es la que aporta Lecours, citado por Diana Díaz Guerra: “El lenguaje es el resultado de una actividad nerviosa compleja que permita la comunicación interindividual de estados psíquicos a través de la materialización de signos multimodales que simbolizan estos estados de acuerdo con una convención propia de una comunicación lingüística”. (Díaz Guerra, 2018)

Por tanto el lenguaje es una herramienta para la actividad intelectual, para la comunicación de la información y, a la vez, un método de regular u organizar los procesos mentales humanos. Creemos por ello que un defecto o daño en esta capacidad, repercute en el resto de las capacidades del sujeto desde la interacción con el medio hasta del desarrollo intelectual adecuado.

En el caso de la afasia esto es más latente ya que, como veremos más adelante, dependiendo del tipo de afasia, se ve influido uno u otro aspecto del lenguaje. Por ello podemos decir que la afasia es un trastorno complejo, difícilmente definible partiendo de su etiología, o de su clínica ya que presenta un conjunto de síntomas extremadamente complejos que afectan a todos los aspectos del lenguaje y aparecen asociados a otros trastornos evolutivos que repercuten directamente en el aprendizaje y por ende en el rendimiento académico del estudiante.

La afasia constituye el síndrome neuropsicológico grave más frecuente en presencia de daño cerebral focal. Se presenta en cerca del 38% de las personas sobrevivientes a una enfermedad

cerebrovascular, que constituye la enfermedad neurológica grave más frecuente a nivel mundial. Sin embargo, a pesar de su carácter discapacitante y niveles de incidencia, los estudios epidemiológicos de la afasia son escasos. (Martínez & Reyes, 2013)

La afasia de Broca en Colombia

Algunos planteamientos de Paulo Freire desde su concepción de la lectura como acto para leer la realidad. Según el Informe PISA 2015, los resultados muestran que se pasó de 49.7 puntos en 2015 a 52.6 en 2016. Por otro lado, este año salió a luz pública un estudio de la Red de Lectura y Escritura en Educación Superior, organizado por la Universidad de la Sabana. En el estudio, en el que participaron 13 universidades colombianas, se supo que la mayoría de los primíparos que ingresaron a estas instituciones de educación superior mostraron problemas en comprensión de lectura.

Así mismo, resultados de admisión de la Fundación Universitaria del Área Andina revelan que 50% de los estudiantes que intentaron ingresar a esta universidad en el 2015 tienen dificultades en lectoescritura. Patricia Díaz Bastos, directora de la Oficina de Orientación Estudiantil y Egresados de la Fundación Universitaria del Área Andina. Señala que:

“En 2015 presentaron la prueba de Lectoescritura alrededor de 1.305 estudiantes, de los cuales 664 no la aprobaron. Estos bajos niveles de lectoescritura tienen un impacto directo en el desempeño de los estudiantes durante el desarrollo de las materias” (El Universal, 2016). En todo caso la problemática colombiana hace énfasis en la formación y promoción de la lectura como gusto y no por obligación, no indican las variables que inciden en este bajo nivel.

Las afasias en Ecuador

En el contexto nacional, los resultados de las pruebas Ser Bachiller 2018, región sierra, determinan que los estudiantes del sistema nacional educativo en el campo de Lengua obtuvieron el 52.2%, excelente, según el Ministro Fander Falconí, es decir una mejora en relación al año anterior, a pesar de esto, el resto se encuentra entre los rangos satisfactorio e insuficiente, no alcanzan los estándares educativos deseados, puesto que presentan graves deficiencias tanto en la resolución de problemas matemáticos como en la comprensión de textos escritos con lo cual, alcanzar la calidad en educación aun continua siendo una utopía, a pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno nacional en materia de capacitación pedagógica; y, mucho menos se menciona alguna variable que afecte el proceso de lecto-escritura, este es un tema que no se ha tratado. (Falconí, 2018)

Estos resultados que permiten conocer el estado real del sistema educativo, fundamenta la investigación versada en la búsqueda de las variables que incidan en el rendimiento en el área de lenguaje y comunicación en sus distintas facetas. El Ministerio de Educación, trata de resolver la problemática, estableciendo acuerdos y reglamentos en búsqueda de la calidad, lo cual es un objetivo prioritario del sistema, por ello en el Ajuste Curricular de la Educación General Básica (2016) se estable el sentido interdisciplinaria del área de Lengua y Literatura y la necesidad de aplicar el sentido procesal de su enseñanza, a través de la lectura y escritura, pero no trata nada sobre las afasias.

En este punto resulta indispensable señalar que el proceso de la lectura y sus etapas: pre lectura, lectura y pos lectura son procesos básicos que deben ser aprendidos por los niños y que en el caso de tener alguna afasia requieren de ayuda profesional adecuada.

Definición de afasia.-

La afasia es un trastorno o pérdida del lenguaje verbal en sus aspectos de expresión y o comprensión como resultado de una lesión cerebral en el hemisferio izquierdo en las zonas de coordinación del lenguaje y que tiene lugar después de que el lenguaje fuese desarrollado e integrado.

Etimología: El término proviene del griego clásico **αφασία** y se traduce como “imposibilidad de hablar”.

Para poder hablar de afasia deberán darse las siguientes premisas: Tener adquirido el lenguaje oral, tener una lesión en las áreas del lenguaje, mostrar una alteración del lenguaje en la expresión o en la recepción.

Como vemos, por afasia se entiende una incapacidad parcial o total para usar el lenguaje, pero los problemas varían desde dificultades para encontrar las palabras hasta una completa incapacidad para hablar. Algunas personas tienen problemas en comprender lo que dicen los demás, otras presentan problemas al leer, escribir o al tener que operar con números. En otros casos, las personas pueden tener problemas al querer expresar lo que quieren comunicar, aunque conservan intacta la comprensión. En la afasia se debe determinar en cada paciente las alteraciones específicas del habla y del lenguaje.

Sin embargo, esta definición, necesita a su vez que aclaremos el significado y las diferencias entre los conceptos que se confunden: habla y lenguaje.

Por “habla” se entiende la ejecución de una serie de habilidades adquiridas para lograr una adecuada comunicación en la que participan los sistemas vocal, auditivo, visual y motriz. Estas habilidades incluyen: la discriminación de fonemas y palabras, la articulación, entonación y la prosodia en el lenguaje hablado; la utilización de marcas gráficas y de patrones visuales para elaborar o entender el

lenguaje de signos, impreso o escrito. Las deficiencias en estas habilidades impiden la comunicación interpersonal, independientemente de cualquier trastorno del lenguaje.

El término "lenguaje" tiene un significado más amplio y se refiere a la selección y a la ordenación seriada de cada palabra según las reglas aceptadas, implica además una intencionalidad del hablante que se dirige a modificar la conducta del oyente, por tanto, expresa y suscita el pensamiento

Tipos de afasia

Como ya se dijo hay dos tipos básicos de afasia: la expresiva (de Broca) y la receptiva (de Wernicke), entre otras. En el presente estudio nos centraremos en estas dos afasias.

- Por parte de la afasia de Broca, podemos decir que se manifiesta en un déficit en la expresión del lenguaje oral, en la producción verbal no fluida y lenta, en la reducción del vocabulario y sintaxis (frases cortas y telegráficas), y la utilización de estereotipias verbales; además, la comprensión del lenguaje está relativamente conservada (puede mostrar dificultades ante mensajes hablados complejos); y también se da la afectación de la lecto - escritura en cuanto a expresión.

- Por parte de la afasia de Wernicke, podemos decir que se trata de un trastorno básicamente de la comprensión, aunque también en la expresión del lenguaje verbal (al no comprender lo que él mismo dice, desvaría) No comprende el lenguaje verbal (palabras = ruido irreconocible) Se da también la jergafasia, que es la expresión verbal fluida y abundante, aunque carente de sentido (neologismos y parafasias). También existen dificultades de articulación, anomia, lectura y escritura alteradas, y la persona no es consciente de su discapacidad, tanto a nivel expresivo como receptivo.

Criterios diagnósticos

La afasia de Broca es un trastorno neuropsicológico ocasionado por lesiones en la parte anterior del cerebro, sobre todo en el lóbulo frontal del hemisferio izquierdo, que cumple un rol más relevante que el derecho, debido a golpes, tumores cerebrales localizados cerca de las áreas del lenguaje, hematomas extradurales que es la acumulación de sangre u otros fluidos entre las meninges y el cráneo, traumatismos craneoencefálicos o debido a infartos o derrames cerebrales de tipo isquémico, que consisten en la interrupción del flujo sanguíneo y por lo tanto de oxígeno a una determinada área del cerebro afectando las regiones antes mencionadas y que producen alteraciones en el lenguaje expresivo, se puede evidenciar a través de problemas a la hora de hablar o escribir, aunque la comprensión auditiva no sea necesariamente afectada como pasa en otros tipos de afasia, dado que el cerebro controla o supervisa una gran parte de las funciones de nuestro organismo, los daños en distintas regiones de esta estructura pueden provocar alteraciones muy variadas. Las afasias son un tipo de trastorno lingüístico que se produce como resultado de lesiones en las áreas cerebrales relacionadas con el lenguaje.

Aunque el nombre del trastorno se asocia al área 44 de Brodmann, conocida como “área de Broca”, los daños que se limitan a esta región cerebral provocan sólo síntomas lingüísticos y motores leves. Las manifestaciones más severas aparecen cuando la lesión se extiende a áreas circundantes, como la ínsula anterior, la circunvolución precentral y la región opercular.

Existen distintos tipos de afasia que se caracterizan por combinaciones idiosincráticas de alteraciones en cuatro dominios lingüísticos: la comprensión verbal, la expresión oral, la comunicación funcional y la lectoescritura. La mayoría de ellas comparten la presencia de anomia, que es la dificultad persistente para recuperar palabras de la memoria.

Otros signos y síntomas habituales de las afasias son los déficits articulatorios y comprensivos, la reducción del lenguaje espontáneo, la incapacidad para leer y/o escribir, la disprosodia (alteraciones en el tono y el ritmo del habla) y la utilización de neologismos (en psicopatología, palabras que sólo tienen significado para quien las dice).

Por tanto las afasias no afectan sólo al lenguaje hablado, sino también al escrito y a la mímica, incluyendo la lengua de signos. Esto se debe a que todas estas formas de comunicación dependen de las mismas funciones cognitivas, relacionadas con estructuras y vías cerebrales que se encuentran dañadas en la afasia. (Figueroba, 2018)

Síntomas y signos de la afasia de Broca

Los signos básicos de la afasia de Broca se relacionan con la producción del habla. Las personas con este síndrome tienen dificultades severas para encontrar palabras y para articular frases de forma fluida, y la pronunciación del discurso se ve también afectada, lo cual provoca que el habla sea monótona, hacen muchas pausas por la dificultad para gesticular palabras que no sean de contenido, usa verbos y sustantivos. También se ve afectada la escritura.

La intensidad de los síntomas obviamente dependen de la gravedad de la lesión; mientras que en algunos casos sólo aparecen anomia leve, reducciones moderadas en la fluidez expresiva y el fenómeno del “acento extranjero”, en otros la persona puede ser incapaz de emitir ninguna palabra. Dado que las regiones relacionadas con la afasia de Broca están implicadas en la motricidad, no resulta sorprendente que las lesiones cerebrales que la causan provoquen otros signos motores como la hemiparesia, parálisis en una mitad del cuerpo; la apraxia, déficit en los movimientos propositivos; y, la disartria, que afecta a la pronunciación.

Las características principales de la afasia de Broca son las siguientes:

Falta de fluidez del lenguaje espontáneo, alteraciones en la escritura, mantenimiento de la comprensión auditiva y lectora, déficit en la repetición de palabras, problemas para recordar palabras, como nombres de objetos (anomia), alteraciones motoras asociadas (disartria, apraxia, hemiparesia)

Diagnóstico de la Afasia de Broca:

Para llevar a cabo el diagnóstico de la afasia de Broca se puede hacer uso de diversos instrumentos de evaluación neuropsicológica, tanto generales como específicos para la detección de afasias. A la hora de realizar cualquier evaluación neuropsicológica, y específicamente la dirigida a valorar la existencia de afasia de Broca, es importante tener en cuenta dos criterios que pueden influir en la comunicación oral:

Nivel de escolaridad: se evalúa teniendo en cuenta el nivel previo de la persona.

Etiología y extensión de la lesión: el paciente puede presentar déficit cognitivos asociados a una lesión más difusa, en memoria y atención por ejemplo, los cuales interfieran en su capacidad comunicativa. Es importante la valoración y reporte de la escuela para el diagnóstico y tratamiento oportuno de los niños con este síndrome.

El diagnóstico de la afasia de Broca se basa en la exploración de diversas áreas del lenguaje. Se valora si cada una de estas áreas se encuentra preservada o afectada y, en función de ello, se identifica el tipo de afasia del que se trata. Si bien es cierto que, en la actualidad se atiende más a los síntomas a tratar, restando importancia a la clasificación del síndrome. Las áreas de exploración son las siguientes:

Habla espontánea en la afasia de Broca.-Se trata de la capacidad para iniciar y mantener el discurso.

La valoración del habla espontánea se centra en el parámetro de la fluidez verbal, establecida como un continuo, dentro del cual cabe destacar dos condiciones:

Habla no fluida: consiste en la dificultad de emisión del lenguaje, la persona es capaz de emitir frases cortas con mucho esfuerzo articulatorio y fatiga, tiene disprosodia, irregularidades en el ritmo y el timbre e inflexiones en la voz y de agramatismos, alteraciones en la construcción de estructuras sintácticas.

Habla fluida o hiperfluida: se trata de una emisión normal o superior (más de 200 palabras por minuto), acompañada de prosodia y articulación normales. Las alteraciones que aparecen en estos casos se hallan en el contenido del discurso, y se conocen como parafasias. Éstas pueden ser de tipo semántico (la palabra que utiliza es errónea y pertenece a la misma categoría que la que debería utilizar), y de tipo fonológico (errores fonéticos como el cambio de sílabas o de letras dentro de una palabra).

En el caso de la afasia de Broca, el habla espontánea se considera no fluida.

Comprensión en la afasia de Broca: Se trata de una habilidad cuya evaluación es complicada, ya que la falta de respuesta o las respuestas incorrectas pueden deberse a aspectos como la dificultad en la producción del lenguaje y no a la falta de comprensión. Por ello, se hace uso de pruebas para las que no sea necesaria la producción lingüística. El criterio diagnóstico en este caso es: comprensión alterada o comprensión preservada. Los pacientes con afasia de Broca presentan esta última.

Repetición en afasia de Broca: Consiste en la capacidad para decodificar la información auditiva, buscar el código fonológico correspondiente y reproducirlo a través del proceso articulatorio. Si alguno de estos aspectos se encuentra alterado, la repetición se verá afectada. A través de la repetición de letras, palabras, pseudopalabras (palabras inventadas) y frases, se observa si existen dificultades en la repetición, tal y como sucede en la afasia de Broca, o si ésta se mantiene preservada.

Denominación en la afasia de Broca: Es la capacidad para nombrar, es decir, de acceso léxico para localizar un elemento lingüístico concreto. A los pacientes con afasia de Broca este aspecto les supone una dificultad notable, esta alteración se conoce como anomia (falta de vocablo).

Secuencias automatizadas en afasia de Broca: Las secuencias automatizadas son una capacidad lingüística elemental, consisten en secuencias sobreaprendidas como los números, los meses del año, etc. También se puede tratar de lenguaje afectivo y automático, por ejemplo expresiones o coletillas. Este lenguaje automático, a diferencia del lenguaje voluntario, puede mantenerse preservado en la mayoría de las afasias, incluso en las de carácter severo.

Síntomas de la afasia de Broca: Anteriormente se han descrito las diferentes áreas a tener en cuenta en la evaluación de una afasia, por ello, y a modo de conclusión, a continuación se muestran los síntomas específicos que nos van a permitir detectar la afasia de Broca:

Falta de fluidez verbal: lentitud y fatiga en la expresión, incluyendo en el discurso un número reducido de palabras.

Anomia: dificultad para evocar los nombres de las cosas

Agramatismo: incapacidad para la construcción de frases de manera completa y adecuada

Dificultades en la repetición: comprenden lo que les dices pero no son capaces de repetirlo.

Conciencia del déficit: Así como en las afasias fluentes la persona no es consciente de sus errores y mantiene el discurso como si éste fuera coherente, las personas con afasia de Broca sí se percatan de su dificultad debido a la fatiga que les supone evocar el lenguaje.

Además de estos síntomas, la afasia de Broca puede conllevar otros síntomas asociados de origen neurológico:

Apraxia bucofacial: incapacidad de llevar a cabo movimientos coordinados en la zona de la cara y la boca, sin ser ocasionado por una causa física.

Hemiparesia: presencia de debilidad en un lado del cuerpo

Hemiplejía: parálisis en un lado del cuerpo

Afectación en la capacidad de lectura y escritura.

Con autorización de Reza Suarez L, Afasias de Broca y de Wernick y su repercusión en el rendimiento académico

Referencias Bibliográficas

- Acurio-Vizuete, K. H. (2023). Teoría fundamentada emergente sobre comunicación digital mediante Tiktok. Recursos para la escuela. *Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación*, 7(47), 237–253. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol7iss47.2023pp237-253>
- Ahtam, B., Turesky, T. K., Zöllei, L., Standish, J., Grant, P. E., Gaab, N., & Im, K. (2021). Intergenerational transmission of cortical sulcal patterns from mothers to their children. *Cerebral Cortex*, 31(4), 1888–1897.
- Aimone, J. B., Li, Y., Lee, S. W., Clemenson, G. D., Deng, W., & Gage, F. H. (2014). Regulation and Function of Adult Neurogenesis: From Genes to Cognition. *Physiol. Rev.*, 94, 991–1026. <https://doi.org/10.1152/physrev.00004.2014>
- Alargada, D. R., & Beut, J. A. G. (2019). Principios educativos y neuroeducación: Una fundamentación desde la ciencia. *Edetania: estudios y propuestas socio-educativas*, 55, 155-180.
- Álava, W. L. S., Rodríguez, A. R., Rodríguez, R. G., & Cornelio, O. M. (2024). La neuroeducación en la formación docente. *Revista Científica de Innovación Educativa y Sociedad Actual «ALCON»*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.62305/alcon.v4i1.63>
- Albanese, M., & Compagno, G. (2023). The Neuroeducation Perspective in the Evaluation of the Teacher's Methodological-Didactic Skills. *Italian Journal Of Health Education, Sport And Inclusive Didactics*, 7(1), <https://doi.org/10.32043/gsd.v7i1.814>
- Al-Hattami, A. A. (2019). The Perception of Students and Faculty Staff on the Role of Constructive Feedback. *International Journal of Instruction*, 12(1), 885-894.
- Alomá Bello, M., Crespo Díaz, L. M., González Hernández, K., Estévez Pérez, N., Alomá Bello, M., Crespo Díaz, L. M., González Hernández, K., & Estévez Pérez, N. (2022). Fundamentos cognitivos y pedagógicos del aprendizaje activo. *Mendive. Revista de Educación*, 20(4), 1353-1368.
- Amodio, D. M., & Frith, C. D. (2006). Meeting of minds: The medial frontal cortex and social cognition. *Nat Rev Neurosci*, 7, 268–277.
- Ann, A., Buss, C., Davis, E. P., Campos, G. de los, Donald, K. A., Fair, D. A., Gaab, N., Gao, W., Gilmore, J. H., Girault, J. B., Grewen, K., Groenewold, N. A., Hankin, B. L., Ipser, J., Kapoor, S., Kim, P., Lin, W., Luo, S., Norton, E. S., ... Knickmeyer, R. (2023). Genetic Influences on the Developing Young Brain and Risk for Neuropsychiatric Disorders. In *Biological*

Psychiatry (Vol. 93, Issue 10, pp. 905–920). Elsevier Inc.

<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2023.01.013>

Ansari, D., König, J., Leask, M., & Tokuhama-Espinosa, T. (2017a). *Developmental Cognitive Neuroscience: implications for Teacher's Pedagogical Knowledge*. OECD.

Ansari, D., König, J., Leask, M., & Tokuhama-Espinosa, T. (2017b). *Developmental Cognitive Neuroscience: implications for Teacher's Pedagogical Knowledge*. OECD.

Aparicio, O. Y. (2018). Las TIC como herramientas cognitivas. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 11, 67-80.

Arancibia, M. L., Cabero, J., & Marañón, V. (2020). Creencias sobre la enseñanza y uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en docentes de educación superior. *Formación universitaria*, 13, 89-100.

Araujo, J. C. (2021). Las Neurociencias y su impacto en el Derecho. El papel del Cerebro en el quehacer jurídico. *El Neuroderecho. Rev Mex Med Forense*, 7(1), 125–158.

<https://doi.org/https://doi.org/10.25009/revmedforense.v7i1.2951>

Arredondo, S. C., Diago, J. C., & Cañizal, A. (2010). *Evaluación educativa de aprendizajes y competencias*. Pearson Educación Madrid.

https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24689w/Evaluacion_educativa.pdf

Arroyo, A. Q., Gutiérrez, M. F., & Quispe, P. H. (2020). Estrategias interactivas en la comprensión de lecturas filosóficas de los estudiantes universitarios de Ayacucho. *Puriq*, 2(3), Article 3.

<https://doi.org/10.37073/puriq.2.3.93>

Asiú Corrales, L. E., Asiú Corrales, A. M., Barboza Díaz, Ó. A., Asiú Corrales, L. E., Asiú Corrales, A. M., & Barboza Díaz, Ó. A. (2021). Evaluación formativa en la práctica pedagógica: Una revisión bibliográfica. *Conrado*, 17(78), 134-139.

Aubert-Broche, B., Fonov, V., García-Lorenzo, D., Mouiha, A., Guizard, N., Coupé, P., Eskildsen, S. F., & Collins, D. L. (2013). A new method for structural volume analysis of longitudinal brain MRI data and its application in studying the growth trajectories of anatomical brain structures in childhood. *NeuroImage*, 82, 393–402.

Austin, R. D., & Pisano, G. P. (2017). Neurodiversity as a Competitive Advantage. *Harv. Bus. Rev.*, 95, 96–103.

Ávila, S. O., & Romero, L. B. P. (2022). Neuroeducación para el desarrollo de comportamientos seguros y saludables en los trabajadores. *Revolución Educativa en la Nueva Era Vol. I*, 319.

Ayuso, J. L. (1999). Biología de la conducta agresiva y su tratamiento. *Salud Mental. Número Especial*.

Ayvaz, Ü., Yaman, H., Mersin, N., Yilmaz, Y., & Durmuş, S. (2017). The Perspectives of Primary Mathematics Teacher Candidates about Equal Sign: The EEG Case. *Universal Journal of*

Educational Research, 5(12), 111–120.

<https://doi.org/https://doi.org/10.13189/ujer.2017.051317>

Azeka, S., Carter, S., & Davidesco, I. (2020). Neuroscientists. *Educational Leadership*, 7(8), 66–69.

Balanta Mera, R., Obispo Salazar, K., Balanta Mera, R., & Obispo Salazar, K. (2022).

Representaciones sociales de la identidad y los roles de género en adolescentes de una escuela secundaria de México. *Interdisciplinaria*, 39(2), 151-166.

<https://doi.org/10.16888/interd.2022.39.2.10>

Bandettini, P. A. (2012). Twenty years of functional MRI: The science and the stories.

Neuroimage, 62(2), 575–588. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.026>

Bandura, A., & McDonald, F. J. (1963). Influencia del refuerzo social y el comportamiento de los modelos en la formación del juicio moral de los niños. *The Journal of Anormal and Social Psychology*.

Bandura, A., & Walters, R. H. (1974). *Aprendizaje social y desarrollo de la personalidad*.

Universidad Alianza Editorial.

Bao, H., & Song, J. (2018). Treating brain disorders by targeting adult neural stem cells. *Trends*

Mol. Med, 24, 991–1006. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2018.10.001>

Barker, E. D., Walton, E., & Cecil, CAM. (2018). Annual research review: DNA methylation as a mediator in the association between risk exposure and child and adolescent psy-chopathology.

J Child Psychol Psychiatry, 59, 303–322.

Barker, R. A., Götz, M., & Parmar, M. (2018). New approaches for brain repair-from rescue to reprogramming. *Nature*, 557, 329–334. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0087-1>

Barrera, A. G. (2022). Neurociencia para una enseñanza personalizada. En *El aprendizaje personalizado en las aulas inclusivas*. Grao.

Basurto Vélez, M. A., & Zambrano Mendoza, H. J. (2020). La neurociencia y su influencia en el proceso de enseñanza- aprendizaje en la educación secundaria. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 3 (marzo), 4.

Bathelt, J., Gathercole, S. E., Johnson, A., & Astle, D. E. (2018). Differences in brain morphology and working memory capacity across childhood. *Dev. Sci.* , 21, 1–13.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/desc.12579>

Battro, A. M., Fischer, K. W., & Léna, P. J. (2008). The educated brain: Essays in neuroeducation. *This Volume Has Been Edited from the Papers Presented at the Aforementioned Conference*.

Bazán Díaz, L. S. (2022). Aplicación de un programa de estrategias didácticas basadas en neuroeducación y su contribución a la construcción de modelos de programación lineal en las asignaturas de investigación de operaciones, Universidad Nacional de Cajamarca, 2020.

Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5387>

- Begus, K., & Bonawitz, E. (2020). The rhythm of learning: Theta oscillations as an index of active learning in infancy. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 45, 100810. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2020.100810>
- Bellido, C., Córdón, M., & Villaescua, E. (2017, noviembre 3). ¿Qué es la neuroeducación? *Neuroeducación*. <https://neuroeducacion701.wordpress.com/2017/11/03/primer-entrada-del-blog/>
- Benedetti, B., Dannehl, D., König, R., Coviello, S., Kreutzer, C., Zaunmair, P., Jakubecova, D., Weiger, T. M., Aigner, L., & Nacher, J. (2020). Functional integration of neuronal precursors in the adult murine piriform cortex. *Cereb. Cortex.* , 30, 1499–1515. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhz181>
- Benton, D. (2010). The influence of dietary status on the cognitive performance of children. *Mol. Nutr. Food Res*, 54, 457–470.
- Berg, D. A., Su, Y., Jimenez-Cyrus, D., Patel, A., Huang, N., Morizet, D., & Bond, A. M. (2019). A common embryonic origin of stem cells drives developmental and adult neurogenesis. *Cell*, 177(3), 654–668. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.02.010>
- Bernal-Gamboa, L. R., Guzmán-Cedillo, Y. I., Bernal-Gamboa, L. R., & Guzmán-Cedillo, Y. I. (2021). El impacto de las infografías en la retención de información por parte de estudiantes de psicología. *Revista Colombiana de Educación*, 83. <https://doi.org/10.17227/rce.num83-10700>
- Betancourt-Pereira, J. (2020). Estrategias de aprendizaje y rendimiento académico en estudiantes de Secretariado Ejecutivo, Machala – Ecuador. *Investigación Valdizana*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.33554/riv.14.1.487>
- Bezek, S., Ujhazy, E., Dubovicky, M., & Mach, M. (2008). Nongenomic memory of foetal history in chronic diseases development. *Neuro Endocrinol Lett.* , 29(5), 620–626.
- Bhargava, A. V., & Ramadas, V. (2022). Implications of neuroscience / neuroeducation in the field of education to enhance the learning outcomes of the students. *Journal of Positive School Psychology*, 6(6), 6502–6510.
- Bhatnagar, S., & Taneja, S. (2011). Zinc and cognitive development. *Br. J. Nutr*, 85, 139–145.
- Biase, R. D. (2019). Moving beyond the teacher-centred/learner-centred dichotomy: Implementing a structured model of active learning in the Maldives. *Compare: A Journal of Comparative and International Education*, 49(4), 565-583. <https://doi.org/10.1080/03057925.2018.1435261>
- Bick, J., & Nelson, C. A. (2016). Early adverse experiences and the developing brain. *Neuropsychopharmacology*, 41(1), 177–196. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/npp.2015.252>.
- Blakemore, S. (2018). *Inventing ourselves: The secret life of the teenage brain*. Doubleday.
- Blakemore, S. J. (2018). *Inventing Ourselves: the Secret Life of the Teenage Brain*. Doubleday.

- Blakemore, S.-J. (2012). Development of the Social Brain in Adolescence. *J. R. Soc. Med.*, *105*, 111–116. <https://doi.org/10.1258/jrsm.2011.110221>
- Blakemore, S.-J., & Choudhury, S. (2006). Development of the Adolescent Brain: Implications for Executive Function and Social Cognition. *J. Child Psychol. Psychiatry.*, *47*, 296–312.
- Bliss, T. V. P., & Collingridge, G. L. (1993). A Synaptic Model of Memory: Long-Term Potentiation in the Hippocampus. *Nature*, *361*, 31–39.
- Bodero, C. (2017). La neurociencia en la primera infancia. *Apunt. Cienc. Soc.*, *7*(1). <http://dx.doi.org/10.18259/acs.2017002>
- Bolaños Arias, G. (2023). LIBRO NEUROCIENCIA Y EDUCACIÓN.
- Bondi, B. C., Tassone, V. K., Bucsea, O., Desrocher, M., & Pepler, D. J. (2024). A Systematic Review of Neurodevelopmental Assessments in Infancy and Early Childhood: Developing a Conceptual Framework, Repository of Measures, and Clinical Recommendations. *Neuropsychology Review*, 1–17. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11065-024-09641-7>
- Bonfanti, L., & Charvet, C. J. (2021). Brain plasticity in humans and model systems: advances, challenges, and future directions. *International journal of molecular sciences*, *22*(17), 9358. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(17), 9358.
- Bonfanti, L., & Nacher, J. (2012). New scenarios for neuronal structural plasticity in non-neurogenic brain parenchyma: The case of cortical layer II immature neurons. *Prog. Neurobiol.*, *98*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2012.05.002>
- Bonfanti, L., & Peretto, P. (2011). Adult neurogenesis in mammals: A theme with many variations. *Eur. J. Neurosci.*, *34*, 930–950. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07832.x>
- Bourre J.M. (2004). Roles of Unsaturated Fatty Acids (Especially Omega-3 Fatty Acids) in the Brain at Various Ages and during Ageing. *J. Nutr. Health Aging.*, *8*, 163–174.
- Breckenridge, K., Braddick, O., & Atkinson, J. (2013). The organization of attention in typical development: a new preschool attention test battery. *Br. J. Dev. Psychol.*, *31*, 271–288. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12004>.
- Brookman-Byrne, A., & Thomas, M. S. (2018). Neuroscience, psychology and education: Emerging links. *Impact*, *2*, 5-8.
- Brouwer, R. M., Mandl, R. C., Schnack, H. G., van Soelen, I. L., van Baal, G. C., Peper, J. S., & Pol, H. H. (2012). White matter development in early puberty: a longitudinal volumetric and diffusion tensor imaging twin study. *PloS One*, *7*(4), e32316.
- Brouwer, R. M., Panizzon, M. S., Glahn, D. C., Hibar, D. P., Hua, X., Jahanshad, N., & Hulshoff Pol, H. E. (2017). Genetic influences on individual differences in longitudinal changes in global and subcortical brain volumes: Results of the ENIGMA plasticity working group. *Human Brain Mapping*, *38*(9), 4444–4458.

- Brown, M., Keynes, R., & Lumsden, A. (2001). *The Developing Brain*. Oxford University Press.
- Bruel-Jungerman, E., Rampon, C., & Laroche, S. (2007). Adult Hippocampal Neurogenesis, Synaptic Plasticity and Memory: Facts and Hypotheses. *Rev. Neurosci*, 18, 93–114.
<https://doi.org/10.1515/REVNEURO.2007.18.2.93>
- Buehl, D. (2023). Integrating Strategies and Instruction. En *Classroom Strategies for Interactive Learning* (4.ª ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781032680842>
- Bueno, D. (2019). Genetics and learning: How the genes influence educational attainment. In *Frontiers in Psychology* (Vol. 10, Issue JULY). Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01622>
- Bueno, D. (2021). Los exámenes como fuente de estrés. Cómo las evaluaciones pueden afectar el aprendizaje a través del estrés. *Journal of Neuroeducation*, 2(1), 72-85.
- Burnett Heyes, S., Zokaei, N., van der Staaij, I., Bays, P. M., & Husain, M. (2012). Development of visual working memory precision in childhood. *Dev. Sci*, 15, 528–538.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01148.x>
- Caballero, A., Granberg, R., & Tseng, K. Y. (2016). Mechanisms contributing to prefrontal cortex maturation during adolescence. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 70, 4–12.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.05.013>
- Caballero-Cobos, M., & Llorent, V. J. (2022). Los efectos de un programa de formación docente en neuroeducación en la mejora de las competencias lectoras, matemática, socioemocionales y morales de estudiantes de secundaria. Un estudio cuasi-experimental de dos años. *Revista de Psicodidáctica*, 27(2), 158-167. <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2022.04.001>
- Cáceres, S., & Tapia, C. (2021). *Modelo de retroalimentación para el aprendizaje: Una propuesta basada en la revisión de literatura*. 26(88). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-66662021000100225&script=sci_arttext
- Calatayud, M. A. (2018). Hacia una cultura neurodidáctica de la evaluación: La percepción del alumnado universitario. *Revista Iberoamericana de Educación*, 78(1), 67-85.
- Calvo, P., & Gracia-Calandín, J. (Eds.). (2019). *Moral Neuroeducation for a Democratic and Pluralistic Society*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22562-9>
- Campos, A. C. (2010). *Primera infancia una mirada desde la neuroeducación*. Oficina de Educación y Cultura de la Organización de los Estados Americanos (OEA/SEDI/DDHEC/OEC).
- Cancino, G. A. C. (2019). La evaluación formativa en el aula universitaria. *Revista Infancia, Educación y Aprendizaje*, 5(2), 91-95.

- Carbaño, E. (2021). *Herramientas digitales para el desarrollo de aprendizajes*. 1(19).
https://vinculando.org/educacion/herramientas-digitales-para-el-desarrollo-de-aprendizajes.html?utm_source=rss
- Cardoso, K., Zaro, M. A., & Silva, P. F. da. (2024). The Evaluation of the Virtual Immersive Learning Laboratory in Health and Nursing (LIASE): A Study in Neuroeducation. *Immersive Learning Research - Academic*, 306-316. <https://doi.org/10.56198/U6C0W3BAT>
- Carey, L. M. (2012). *Stroke Rehabilitation: Insights from Neuroscience and Imaging*. Oxford University Press.
- Carless, D. (2017). Scaling Up Assessment for Learning: Progress and Prospects. En D. Carless, S. M. Bridges, C. K. Y. Chan, & R. Glofcheski (Eds.), *Scaling up Assessment for Learning in Higher Education* (pp. 3-17). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3045-1_1
- Carlton J. Fong, Y. W. K., Diane L. Schallert, Kyle M. Williams, Zachary H. Williamson, Shengjie Lin, & Chen, L.-H. (2021). Making feedback constructive: The interplay of undergraduates' motivation with perceptions of feedback specificity and friendliness. *Educational Psychology*, 41(10), 1241-1259. <https://doi.org/10.1080/01443410.2021.1951671>
- Carrillo, M. V. (2021). Plataformas Educativas y herramientas digitales para el aprendizaje. *Vida Científica Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 4*, 9(18), 9-12.
- Casquejo Johnston, L. (2019). Montessori Middle School: The Erdkinder. *Middle Grades Review*, 5(3). <https://scholarworks.uvm.edu/mgreview/vol5/iss3/4>
- Castillo, P. (2023). Los límites éticos de la neuroeducación. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 35(2), 191-208.
- Catherine, L., Javier, B., & Francisco, G. (2020). Four Pillars of the Montessori Method and Their Support by Current Neuroscience. *Mind, Brain, and Education*, 14(4), 322-334.
<https://doi.org/10.1111/mbe.12262>
- Caulfield, L. E., Putnick, D. L., Zavaleta, N., Lazarte, F., Albornoz, C., Chen, P., Dipietro, J. A., & Bornstein, M. H. (2010). Maternal gestational zinc supplementation does not influence multiple aspects of child development at 54 mo of age in Peru. *Am. J. Clin. Nutr.*, 92, 130–136. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29407>
- Cavanagh, T., Chen, B., Lahcen, R. A. M., & Paradiso, J. R. (2020). Constructing a design framework and pedagogical approach for adaptive learning in higher education: A practitioner's perspective. *International review of research in open and distributed learning*, 21(1), 173-197.
- Ccoa Mamani, F. D. M., & Alvites Huamaní, C. G. (2021). Herramientas Digitales para Entornos Educativos Virtuales. *Lex - Revista de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas*, 19(27), 315. <https://doi.org/10.21503/lex.v19i27.2265>

- Cedeño, E. I. B., Loor, J. S. L., Garófalo, A. R. B., & Almeida, J. J. M. (2023). La evaluación formativa en la práctica pedagógica de la Educación Superior: Revisión Sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6289
- Charvet C.J., & Finlay B.L. (2018). Comparing adult hippocampal neurogenesis across species: Translating time to predict the tempo in humans. *Front. Neurosci*, 12, 706. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00706>
- Charvet, C. J. (2021). Cutting across structural and transcriptomic scales translates time across the lifespan in humans and chimpanzees. *Proc. R. Soc. B*, 288, 20202987. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2987>
- Charvet, C. J., Reep, R. L., & Finlay, B. L. (2017). Evolution of cytoarchitectural landscapes in the mammalian isocortex: Sirenians (*Trichechus manatus*) in comparison with other mammals. *J. Comp. Neurol*, 524, 771–782.
- Charvet, C. J., Striedter, G. F., & Finlay, B. L. (2011). Evo-devo and brain scaling: Candidate developmental mechanisms for variation and constancy in vertebrate brain evolution. *Brain Behav. Evol.* , 78, 248–257. <https://doi.org/10.1159/000329851>
- Chavez, A., Martinez, C., & Yaschine, T. (1975). Nutrition, behavioral development, and mother-child interaction in young rural children. *Fed. Proc.*, 34, 1574–1582.
- Chen, C. H., Fiecas, M., Gutiérrez, E. D., Panizzon, M. S., Eyler, L. T., Vuoksimaa, E., & Kremen, W. S. (2013). Genetic topography of brain morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(42), 17089–17094.
- Chen, J. A., Peñagarikano, O., Belgard, T. G., Swarup, V., & Geschwind, D. H. (2015). The emerging picture of autism spectrum disorder: genetics and pathology. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, 10(1), 111–144.
- Cherrier, S., Le Roux, P. Y., Gerard, F. M., Wattelez, G., & Galy, O. (2020). Impact of a neuroscience intervention (NeuroStratE) on the school performance of high school students: Academic achievement, self-knowledge and autonomy through a metacognitive approach. *Trends in Neuroscience and Education*, 18, 100125.
- Cherry, K., & Lakhan, S. (2024, May 17). *How Neuroplasticity Works. Your experiences can change how you brain functions*. Verywellmind.
- Cho, H. J., Zhao, K., Lee, C. R., Runshe, D., & Krousgrill, C. (2021). Active learning through flipped classroom in mechanical engineering: Improving students' perception of learning and performance. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00302-2>
- Churches, R., Dommett, E., & Devonshire, I. (2017). *Neuroscience for teachers: Applying research evidence from brain science*. Crown House Publishing Ltd.

- [https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=Ft8zDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT26&dq=Churches,+R.,+Dommett,+E.,+%26+Devonshire,+I.+\(2017\).+Neuroscience+for+teachers.+Carmarthen,+UK:+Crown+House+Publishing&ots=r-2LvwwEDW&sig=Q4RgKNeD4HJJPqSj2meZ540vCTs](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=Ft8zDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT26&dq=Churches,+R.,+Dommett,+E.,+%26+Devonshire,+I.+(2017).+Neuroscience+for+teachers.+Carmarthen,+UK:+Crown+House+Publishing&ots=r-2LvwwEDW&sig=Q4RgKNeD4HJJPqSj2meZ540vCTs)
- Cisneros-Franco, J. M., Voss, P., Thomas, M. E., & de Villers-Sidani, E. (2020). Critical periods of brain development. *In Handbook of Clinical Neurology*, 173, 75–88.
- Citri, A., & Malenka, R. C. (2008). Synaptic plasticity: Multiple forms, functions, and mechanisms. *Neuropsychopharmacology*, 33, 18–41. <https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301559>
- Clancy, B., Darlington, R. B., & Finlay, B. L. (2001). Translating developmental time across mammalian species. *Neuroscience*, 105, 7–17. [https://doi.org/10.1016/S0306-4522\(01\)00171-3](https://doi.org/10.1016/S0306-4522(01)00171-3)
- Clandinin M.T., Van Aerde J.E., Merkel K.L., Harris C.L., Springer M.A., Hansen J.W., & Diersen-Schade D.A. (2005). Growth and Development of Preterm Infants Fed Infant Formulas Containing Docosahexaenoic Acid and Arachidonic Acid. *J. Pediatr.*, 146, 461–468. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2004.11.030>
- Clark, C. A., Pritchard, V. E., & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Dev. Psychol.*, 46, 1176–1191.
- Cohen Kadosh, K., Muhardi, L., Parikh, P., Basso, M., Jan Mohamed, H. J., Prawitasari, T., & Geurts, J. M. (2021). Nutritional support of neurodevelopment and cognitive function in infants and young children—an update and novel insights. *Nutrients*, 13(1), 199. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7828103/>
- Cohen, S., Russell, L., Leis, A., Shahidi, J., Porterfield, P., Kuhl, D. R., Gadermann, A. M., & Sawatzky, R. (2019). More comprehensively measuring quality of life in life-threatening illness: The McGill Quality of Life Questionnaire - Expanded. *BMC Palliative Care*, 18(92), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S12904-019-0473-Y/TABLES/5>
- Colombo, J., Zavaleta, N., Kannass, K. N., Lazarte, F., Albornoz, C., Kapa, L. L., & Caulfield, L. E. (2014). Zinc supplementation sustained normative neurodevelopment in a randomized, controlled trial of Peruvian infants aged 6–18 months. *J. Nutr.*, 144, 1298–1305.
- Coral Melo, C. B., Martínez Rubio, S. L., Maya, N., & Marianita Marroquín Yerovi, H. (2021). La neuroeducación y aprendizaje significativo. Estudio experimental en tres instituciones del nivel de básica primaria. *Revista Unimar*, 39(2), 50-83.
- Cosenza, R., & Guerra, L. (2011). *Neurociência e Educação, Como o Cérebro Aprende*. Artmed.
- Costamagna, A., & Manuale, M. (2005). Estrategias de enseñanza para la comprensión: Un enfoque alternativo. *Aula universitaria*, 1(6), 98-115.

- Cramer, S. C., Sur, M., Dobkin, B. H., O'Brien, C., Sanger, T. D., Trojanowski, J. Q., Rumsey, J. M., Hicks, R., Cameron, J., & Chen, D. (2011). Harnessing Neuroplasticity for Clinical Applications. *Brain*, *134*, 1591–1609.
- Cruzado Saldaña, J. J. (2022). La evaluación formativa en la educación. *Comuni@cción*, *13*(2), 149-160. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.13.2.672>
- Cumpa Valencia, M. (2020). Usos y abusos del término “neurociencias”: una revisión sistemática en revistas indexadas. *Revista Conciencia EPG*, *4*(1), 30–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.32654/concienciaepg.4-1.3>
- Cunningham, W. A., & Zelazo, P. D. (2007). Attitudes and evaluations: A social cognitive neuroscience perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(3), 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.12.005>
- Cusick, S. E., & Georgieff, M. K. (2016). The role of nutrition in brain development: The golden opportunity of the “first 1000 days” . *J. Pediatr.* , *175*, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.05.013>
- Davies, G., Lam, M., Harris, S. E., Trampush, J. W., Luciano, M., & Hill, W. D. (2018). Study of 300,486 individuals identifies 148 independent genetic loci influencing general cognitive function. *Nat. Commun*, *9*, 2098. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04362-x>
- De Aparicio, X. (2009). Neurociencias y la transdisciplinariedad en la educación. *Revista Universitaria de Investigación y Diálogo Académico*, *5*(2).
- De Bellis, M. D., Hall, J., Boring, A. M., Frustaci, K., & Moritz, G. (2001). A pilot longitudinal study of hippocampal volumes in pediatric maltreatment-related posttraumatic stress disorder. . *Biol Psychiatry* , *50*, 305–309.
- De Berardis, D., De Filippis, S., Masi, G., Vicari, S., & Zuddas, A. (2021). A neurodevelopment approach for a transitional model of early onset schizophrenia. *Brain Sci.*, *11*, 275. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020275>
- De Kieviet, J. F., Zoetebier, L., Van Elburg, R. M., Vermeulen, R. J., & Oosterlaan, J. (2012). Brain development of very preterm and very low-birthweight children in childhood and adolescence: A meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *54*(4), 313–323.
- De Onis, M., Monteiro, C., Akre, J., & Glugston, G. (1993). The worldwide magnitude of protein-energy malnutrition: an overview from the WHO Global Database on Child Growth. *Bulletin of the World Health Organization*, *71*(6), 703.
- Dehaene, S. (2020). *How We Learn: The New Science of Education and the Brain*. Penguin.
- Dehorter, N., & Del Pino, I. (2020). Shifting developmental trajectories during critical periods of brain formation. *Front. Cell. Neurosci*, *14*, 283. <https://doi.org/10.3389/fncel.2020.00283>

- Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., & Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in Psychology*.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00429>
- Deslauriers, L., McCarty, L. S., Miller, K., Callaghan, K., & Kestin, G. (2019). Measuring actual learning versus feeling of learning in response to being actively engaged in the classroom. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(39), 19251-19257.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1821936116>
- De-Souza, A. S., Fernandes, F. S., & Do-Carmo, M. G. (2011). Effects of maternal malnutrition and postnatal nutritional rehabilitation on brain fatty acids, learning, and memory. *Nutr. Rev.*, *69*, 132–144.
- Díaz, V. (2021). Neuroeducación, de lo científico a lo práctico. Asociación Normalista de Docentes Investigadores. México.
- Díaz-Cabriales, A. (2021). La neuroeducación en los programas de formación y profesionalización docente en México. *Ciencia y Educación*, *5*(2). <https://doi.org/10.22206/cyed.2021.v5i2.pp63-78>
- Díaz-López, M. M. (2021). Aprendizaje significativo de bioseguridad a través de infografías interactivas. *Educación Médica Superior*, *35*(2), 3-14.
- Díez, A., & Gutiérrez-Fresneda, R. (2020). Lectura y dificultades lectoras en el zsiglo XXI. Octaedro. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/112331>
- Dixit, B., Bedekar, M., Jahagirdar, A., & Sathe, N. (2021). Role of active learning techniques in development of problem-solving skills. *Journal of Engineering Education Transformations*, *34*, 670-674.
- Doherty, S. P., Grabowski, J., Hoffman, C., Ng, S. P., & Zelikoff, J. T. (2009). Early life insult from cigarette smoke may be predictive of chronic diseases later in life. *Biomarcadores*, *14*, 97–101.
<https://doi.org/10.1080/13547500902965898>
- Domínguez de la Rosa, L. (2021). *Las metodologías activas y el uso de las TICS: Propuestas didácticas*. 1-92.
- Donahoe, B., Rickard, D., Holden, H., Blackwell, K., & Caukin, N. (2019). Using EdTech to enhance learning. *International Journal of the Whole Child*, *4*(2), 57-63.
- Douet, V., Chang, L., Cloak, C., & Ernst, T. (2014). Genetic influences on brain developmental trajectories on neuroimaging studies: from infancy to young adulthood. . *Brain Imaging and Behavior*, *8*, 234–250.
- Dror, D. K., & Allen, L. H. (2008). Effect of vitamin B12 deficiency on neurodevelopment in infants: current knowledge and possible mechanisms. *Nutrition Reviews*, *66*(5), 250–255.

- Dubinsky, J. M., & Hamid, A. A. (2024). The neuroscience of active learning and direct instruction. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *163*, 105737.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105737>
- Dubinsky, J. M., Guzey, S. S., Schwartz, M. S., Roehrig, G., MacNabb, C., Schmied, A., Hinesley, V., Hoelscher, M., Michlin, M., Schmitt, L., Ellingson, C., Chang, Z., & Cooper, J. L. (2019). Contributions of Neuroscience Knowledge to Teachers and Their Practice. *In Neuroscientist*, *25*(5), 394–407. <https://doi.org/10.1177/1073858419835447>
- Duffy, K. A., McLaughlin, K. A., & Green, P. A. (2018). Early life adversity and health-risk behaviors: proposed psychological and neural mechanisms. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* , *1428*(1), 151–169. <https://doi.org/10.1111/nyas.13928>
- Dumontheil, I. (2016). Adolescent brain development. *Current Opinion in Behavioral Sciences* , *10*, 39–44. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352154616300894>
- Edelenbosch, R., Kupper, F., Krabbendam, L. W., & Broerse, J. E. (2015). Brain-Based Learning and Educational Neuroscience: Boundary Work. *Mind, Brain, and Education*, *9*(1), 40–49.
<https://doi.org/10.1111/mbe.12066>
- Elouafi, L., Said, L., & Talbi, M. (2021). Progress report in neuroscience and education: Experiment of four neuropedagogical methods. *Education Sciences*, *11*(8).
<https://doi.org/10.3390/educsci11080373>
- Engle, P. L. (2010). INCAP studies of malnutrition and cognitive behavior. *Food Nutr. Bull.* , *31*, 83–94.
- Epel, E. S., Crosswell, A. D., Mayer, S. E., Prather, A. A., Slavich, G. M., Puterman, E., & Mendes, W. B. (2018). More than a feeling: A unified view of stress measurement for population science. *Frontiers in Neuroendocrinology*, *49*, 146–169.
<https://doi.org/10.1016/J.YFRNE.2018.03.001>
- Escobar, E. M., Caicedo, F. B. C., & Medina, D. R. B. (2023). Innovaciones en la Pedagogía Moderna: Estrategias y Tecnologías Emergentes. *Código Científico Revista de Investigación*, *4*(2), Article 2. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/n2/264>
- Escobar, M. I., & Pimienta, J. H. (1998). *Sistema nervioso: neuroanatomía funcional, neurohistología, neurotransmisores, receptores y clínica* (2nd. ed.). Editorial Universidad del Valle.
- Espada, A. (2019). Recomendaciones desde el Conocimiento actual de la Neurociencia y la Innovación Educativa para la Mejora del Aprendizaje de las Matemáticas. *Universidad Pontificia*.

- Fabricius, K., Wörtwein, G., & Pakkenberg, B. (2008). The Impact of Maternal Separation on Adult Mouse Behaviour and on the Total Neuron Number in the Mouse Hippocampus. *Brain Struct. Funct*, 212, 403–416. <https://doi.org/10.1007/s00429-007-0169-6>
- Farah, M. J. (2017). The neuroscience of socioeconomic status: correlates, causes, and consequences. *Neuron*, 96(1), 56–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.08.034>
- Farah, M. J. (2018). Socioeconomic status and the brain: prospects for neuroscience- informed policy. *Nat. Rev. Neurosci*, 19(7), 428–438. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41583-018-0023-2>
- Fareri, D. S., Gabard-Durnam, L. J., Goff, B., & Tottenham, N. (2015). Developmental Trajectories of Amygdala-Prefrontal Morphology and Functioning in Adolescents: A Longitudinal Study. *Neuroimage*. 118, 239–247.
- Fatemi, S. H., & Folsom, T. D. (2009). The neurodevelopmental hypothesis of schizophrenia, revisited. *Schizophrenia Bulletin*, 35(3), 528–548.
- Fehlbaum, L. V., Peters, L., Dimanova, P., Roell, M., Borbás, R., Ansari, D., & Raschle, N. M. (2022). Mother-child similarity in brain morphology: A comparison of structural characteristics of the brain's reading network. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 53, 101058.
- Feinberg, M. E. (2007). Parenting and adolescent antisocial behavior and depression: Evidence of genotype× parenting environment interaction. *Archives of General Psychiatry*, 64(4), 457–465.
- Feliciano, D. M., Bordey, A., & Bonfanti, L. (2015). Noncanonical sites of adult neurogenesis in the mammalian brain. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 7, a018846. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a018846>
- Fernández, J. (2010). Neurociencias y Enseñanza de la Matemática. Prólogo de algunos retos educativos. *Revista Iberoamericana de Educación*, 51(3).
- Ferretti, G., Mazzotti, S., & Brizzolara, D. (2008). Visual scanning and reading ability in normal and dyslexic children. *Behav. Neurol*, 19, 87–92.
- Figuroa, C., & Farnum, F. (2020). La neuroeducación como aporte a las dificultades del aprendizaje en la población infantil. Una mirada desde la psicopedagogía en Colombia. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 17-26.
- Finlay, B. L. (1995). Linked regularities in the development and evolution of mammalian brains. *Science*, 268, 1578–1584.
- Fleur, D. S., Bredeweg, B., & van den Bos, W. (2021). Metacognition: Ideas and insights from neuro- and educational sciences. *Npj Science of Learning*, 6(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00089-5>

- Florence, M. D., Asbridge, M., & Veugelers, P. J. (2008). Diet quality and academic performance. *J. Sch. Health.*, 78, 209–215.
- Floris, F. (2022). Criteri di accesso e completamento per personalizzare l'esperienza di apprendimento. En *Atti del MoodleMoot Italia 2022* (pp. 181-182). MediaTouch 2000. <https://iris.unito.it/handle/2318/1897872>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2018). *Encuesta de Indicadores Múltiples por conglomerados. Informe Sectorial: Desarrollo Infantil Temprano.*
- France, P. E. (2019). Personalization Myths. En *Reclaiming Personalized Learning: A Pedagogy for Restoring Equity and Humanity in Our Classrooms* (pp. 8-19). Corwin Press.
- Freire, P. (1978). *Pedagogía del oprimido* (2nd ed.). Siglo XXI.
- Fu, Y., Ma, Z., Hamilton, C., Liang, Z., Hou, X., Ma, X., & Zhang, N. (2015). Genetic influences on resting-state functional networks: A twin study. *Human Brain Mapping*, 36(10), 3959–3972.
- Furukawa, E., Bado, P., Tripp, G., Mattos, P., Wickens, J. R., Bramati, I. E., & Moll, J. (2014). Abnormal striatal BOLD responses to reward anticipation and reward delivery in ADHD. *PloS One*, 9(2), e89129.
- Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, 18(2), 222–233.
- Gallardo, L. S. D., Velez, E. A. B., & Bedón, L. M. G. (2023). Potenciando el aprendizaje significativo en educación inicial a través de la neuroeducación. *Revista UNO*, 3(5), Article 5. <https://doi.org/10.62349/revistauno.v.3i5.18>
- Gao, W., Elton, A., Zhu, H., Alcauter, S., Smith, J. K., Gilmore, J. H., & Lin, W. (2014). Intersubject variability of and genetic effects on the brain's functional connectivity during infancy. *Journal of Neuroscience*, 34(34), 11288–11296.
- Gao, W., Grewen, K., Knickmeyer, R. C., Qiu, A., Salzwedel, A., Lin, W., & Gilmore, J. H. (2019). A review on neuroimaging studies of genetic and environmental influences on early brain development. *Neuroimage*, 185, 802–812.
- Gao, W.-J., Yang, S.-S., Mack, N. R., & Chamberlin, L. A. (2021). Aberrant maturation and connectivity of prefrontal cortex in schizophrenia contribution of NMDA receptor development and hypofunction. *Mol. Psychiatry*.
- García-Mogollón, M., & Mogollón-Rodríguez, M. (2020). Gamificación con procesos cognitivos para mejorar niveles de comprensión lectora en estudiantes de octavo grado. *IPSA Scientia, revista científica multidisciplinaria*, 5(1), 127-142.

- Gardner JL, C. L. T. D. T. RW. (2007). Experimental strategies towards treating mitochondrial DNA disorders. *Biosci Rep.* , 27(1–3), 139–150. <https://doi.org/10.1007/s10540-007-9042-3>
- Garon-Carrier, G., Boivin, M., Lemelin, J. P., Kovas, Y., Parent, S., Séguin, J., Vitaro, F., Tremblay, R. E., & Dionne, G. (2018). Early developmental trajectories of number knowledge and math achievement from 4 to 10 years: low-persistent profile and early-life predictors. *J. Sch. Psychol.* , 68, 84–98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsp.2018.02.004>
- Gee, D. G., Humphreys, K. L., Flannery, J., Goff, B., Telzer, E. H., Shapiro, M., Hare, T. A., Bookheimer, S. Y., & Tottenham, N. A. (2013). Developmental Shift from Positive to Negative Connectivity in Human Amygdala–Prefrontal Circuitry. *J. Neurosci.* , 33, 4584–4593. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3446-12.2013>
- Gelfo, F., Mandolesi, L., Serra, L., Sorrentino, G., & Caltagirone, C. (2018). The neuroprotective effects of experience on cognitive functions: Evidence from animal studies on the neurobiological bases of brain reserve. *Neuroscience* , 370, 218–235. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.07.065>
- Geng, X., Prom-Wormley, E. C., Perez, J., Kubarych, T., Styner, M., Lin, W., & Gilmore, J. H. (2012). White matter heritability using diffusion tensor imaging in neonatal brains. *Twin Research and Human Genetics* , 15(3), 336–350.
- Gessaga, T. M. (2016). Neuropedagogía aplicada a la contabilidad: estimulando las habilidades cognitivas. In *XII Simposio Regional de Investigación Contable*.
- Giedd, J. N. (2008). The teen brain: Insights from neuroimaging. *Journal of Adolescent Health* , 4, 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2008.01.007>
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: A longitudinal MRI study. *Nat Neurosci* , 2, 861–863.
- Gilmore, J. H., Knickmeyer, R. C., & Gao, W. (2018). Imaging structural and functional brain development in early childhood. *Nature Reviews Neuroscience* , 19(3), 123–137.
- Gilmore, J. H., Schmitt, J. E., Knickmeyer, R. C., Smith, J. K., Lin, W., Styner, M., & Neale, M. C. (2010). Genetic and environmental contributions to neonatal brain structure: a twin study. *Human Brain Mapping* , 31(8), 1174–1182.
- Girón, J. E. B., & Gómez, A. E. G. (2023). Estudio de socioformación y artículos académicos en postgrado de neurociencia. *Revista Académica CUNZAC* , 6(1), 76-83.
- Glahn, D. C., Winkler, A. M., Kochunov, P., Almasy, L., Duggirala, R., Carless, M. A., & Blangero, J. (2010). Genetic control over the resting brain. *GProceedings of the National Academy of Sciences* , 107(3), 1223–1228.

- Gogia, S., & Sachdev, H. S. (2012). Zinc supplementation for mental and motor development in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12.
<https://doi.org/0.1002/14651858.CD007991.pub2>
- Goldberg, H. (2022). Growing Brains, Nurturing Minds—Neuroscience as an Educational Tool to Support Students’ Development as Life-Long Learners. *Brain Sciences*, 12(12), 1622.
<https://doi.org/10.3390/brainsci12121622>
- Golub, M. S., Keen, C. L., Gershwin, M. E., & Hendrickx, A. G. (1995). Developmental zinc deficiency and behavior. *The Journal of Nutrition*, 125, 2263S-2271S.
- Gómez, F. A. E. (2023). *Renovación de la práctica pedagógica con base en la neuroeducación*. 16, 1-4.
- Gómez-Climent, M. A., Castillo-Gómez, E., Varea, E., Guirado, R., Blasco-Ibáñez, J. M., Crespo, C., Martínez-Guijarro, F. J., & Nacher, J. (2008). A population of prenatally generated cells in the rat paleocortex maintains an immature neuronal phenotype into adulthood. *Cereb. Cortex*, 18, 2229–2240. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm255>
- Gómez-Climent, M. Á., Guirado, R., Castillo-Gomez, E., Varea, E., Gutierrez-Mecinas, M., Gilabert-Juan, J., & Nacher, J. (2011). The polysialylated form of the neural cell adhesion molecule (PSA-NCAM) is expressed in a subpopulation of mature cortical interneurons characterized by reduced structural features and connectivity. *Cerebral Cortex*, 21(5), 1028–1041. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq177>
- González, A., Herrera, I., Fernández, J., & González, A. (2023). Un análisis de la neuroeducación desde las teorías pedagógicas de piaget, vygotsky, bandura y montessori. *GADE: REV. CIENT.*, 3(2), 313–325.
- González, H. F., & Visentin, S. (2016). Micronutrients and neurodevelopment: An update. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 114(6), 570–575.
- Goswami, U. (2004). Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74(1), 1–14. <https://doi.org/https://doi-org.ezproxy.unal.edu.co/10.1348/000709904322848798>
- Grospietsch, F., & Mayer, J. (2019). Pre-service science teachers’ neuroscience literacy: Neuromyths and a professional understanding of learning and memory. *Frontiers in human neuroscience*, 13(20), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00020>
- Gutiérrez, E. L. (2022). Neuroeducación y Neuropedagogía. Revisión documental de publicaciones de 2002 a 2022 [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio de la Universidad Santo Tomás.
- Guyer, A. E., Pérez-Edgar, K., & Crone, E. A. (2018). Opportunities for neurodevelopmental plasticity from infancy through early adulthood. *Child Development*, 89(3), 687–697.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/cdev.13073>

- Hackman, D. A., Farah, M. J., & Meaney, M. J. . (2010). Socioeconomic status and the brain: mechanistic insights from human and animal research. *Nat. Rev. Neurosci.* , 11(9), 651–659. <https://doi.org/10.1038/nrn2897>.
- Hanson, J. L., Hair, N., Shen, D. G., Shi, F., Gilmore, J. H., Wolfe, B. L., & Pollak, S. D. (2013). Family poverty affects the rate of human infant brain growth. *PLoS One* , 8(12), e80954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080954>.
- Hardiman, M., Rinne, L., Gregory, E., & Yarmolinskaya, J. (2011). Neuroethics, Neuroeducation, and Classroom Teaching: Where the Brain Sciences Meet Pedagogy. *Neuroethics*, 5, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12152-011-9116-6>.
- Hensch, T. K. (2004). Critical period regulation. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 549–579. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144327>
- Hermida, M. J., Segretin, M. S., Soni García, A., & Lipina, S. J. (2016). Conceptions and misconceptions about neuroscience in preschool teachers: a study from Argentina. *Educational Research*, 58(4), 457–472. <https://doi.org/10.1080/00131881.2016.1238585>
- Hernández, Á. A. B., & Domich, M. A. A. (2021). Herramientas digitales como recurso de interacción comunicativa en escuelas de Colombia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), Article 5. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i5.848
- Holtmaat, A., & Svoboda, K. (2009). Experience-dependent structural synaptic plasticity in the mammalian brain. *Nat. Rev. Neurosci.* , 10, 647–658. <https://doi.org/10.1038/nrn2699>
- Hreilikh, O. O., & Vydolob, N. O. (2021). Psychological features of pedagogical interaction in the “teacher-student” system. *НАУКОВИЙ ВІСНИК*, 7(3), 77.
- Huber, E., Donnelly, P. M., Rokem, A., & Yeatman, J. D. (2018). Rapid and Widespread White Matter Plasticity during an Intensive Reading Intervention. *Nat. Commun.*, 9, 1–13.
- Huttenlocher, P. R., & Dabholkar, A. S. (1997). Regional Differences in Synaptogenesis in Human Cerebral Cortex. *J. Comp. Neurol.* , 387, 167–178. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9861\(19971020\)387:2<167::AID-CNE1>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9861(19971020)387:2<167::AID-CNE1>3.0.CO;2-Z)
- Hyde, L. W., Gard, A. M., Tomlinson, R. C., Burt, S. A., Mitchell, C., & Monk, C. S. (2020). An ecological approach to understanding the developing brain: examples linking poverty, parenting, neighborhoods, and the brain. *Am. Psychol.* , 75(9), 1245–1259. <https://doi.org/10.1037/amp0000741>.
- Ismail, F. Y., Fatemi, A., & Johnston, M. V. (2017). Cerebral plasticity: Windows of opportunity in the developing brain. *European Journal of Paediatric Neurology*, 21(1), 23–48.
- Jamaludin, A., Henik, A., & Hale, J. B. (2019). Educational neuroscience: Bridging theory and practice. *Learning: Research and Practice*, 5(2), 93-98. <https://doi.org/10.1080/23735082.2019.1685027>

- Jansen, A. G., Mous, S. E., White, T., Posthuma, D., & Polderman, T. J. (2015). What twin studies tell us about the heritability of brain development, morphology, and function: a review. *Neuropsychology Review*, *25*, 27–46.
- Jensen, E. (2010). *Cerebro y aprendizaje*. Narcea.
- Jernigan, T. L., Baare, W. F., Stiles, J., & Madsen, K. S. (2011). Postnatal brain development: Structural imaging of dynamic neurodevelopmental processes. *Prog Brain Res*, *189*, 77–92.
- Jha, S. C., Xia, K., Schmitt, J. E., Ahn, M., Girault, J. B., Murphy, V. A., & Gilmore, J. H. (2018). Genetic influences on neonatal cortical thickness and surface area. *Human Brain Mapping*, *39*(12), 4998–5013.
- Jolles, D., Wassermann, D., Chokhani, R., Richardson, J., Tenison, C., Bammer, R., Fuchs, L., Supekar, K., & Menon, V. (2016). Plasticity of left perisylvian white-matter tracts is associated with individual differences in math learning. *Brain Struct. Funct.* *221*, 1337–1351, *221*, 1337–1351. <https://doi.org/10.1007/s00429-014-0975-6>.
- Jolles, J., & Jolles, D. D. (2021). On neuroeducation: Why and how to improve neuroscientific literacy in educational professionals. *Frontiers in Psychology*, *12*, 752151.
- Jones, M. J., Moore, S. R., & Kobor, M. S. (2018). Principles and challenges of applying epigenetic epidemiology to psychology. *Ann Rev Psychol*, *69*, 459–485.
- Juraska, J. M., & Willing, J. (2017). Pubertal onset as a critical transition for neural development and cognition. *Brain Research*, *1654*, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.04.012>
- Kaczmarek, B. (2020). Current views on neuroplasticity: What is new and what is old? *Acta Neuropsychologica*, *18*(1), 1–14. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.8808>
- Kapil, U. (2007). Health consequences of iodine deficiency. *Sultan Qaboos University Medical Journal*, *7*(3), 267.
- Kar, B. R., Rao, S. L., & Chandramouli, B. A. (2008). Cognitive development in children with chronic protein energy malnutrition. *J. Behav. Brain Funct.*, *4*(31), 1–12.
- Kaufmann, T., van der Meer, D., Doan, N. T., Schwarz, E., Lund M, .J., Agartz, I., Alnæs, D., Barch, D. M., Baur-Streubel, R., & Westlye, L. T. (2019). Common brain disorders are associated with heritable patterns of apparent aging of the brain. *Nat. Neurosci.*, *22*, 1617–1623. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0471-7>
- Kempermann, G. (2008). The neurogenic reserve hypothesis: What is adult hippocampal neurogenesis good for? *Trends Neurosci.*, *31*, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2008.01.002>
- Kempermann, G. (2020). Delayed gratification in the adult brain. *ELife.*, *9*, e59786. <https://doi.org/10.7554/eLife.59786>

- Klarborg, B., Skak Madsen, K., Vestergaard, M., Skimminge, A., Jernigan, T. L., & Baaré, W. F. (2013). Sustained attention is associated with right superior longitudinal fasciculus and superior parietal white matter microstructure in children. *Hum. Brain Mapp.*, *34*, 3216–3232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hbm.22139>
- Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of Experience-Dependent Neural Plasticity: Implications for Rehabilitation after Brain Damage. *J. Speech Lang. Hear. Res.*, *51*, S225–S239.
- Klingberg, T., Judd, N., & Sauce, B. (2022). Assessing the impact of environmental factors on the adolescent brain: the importance of regional analyses and genetic controls. In *World Psychiatry* (Vol. 21, Issue 1, pp. 146–147). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/wps.20934>
- Knudsen, E. I. (2004). Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(8), 1412–1425.
- Koehl, M., & Abrous, D. N. (2011). A New Chapter in the Field of Memory: Adult Hippocampal Neurogenesis. *Eur. J. Neurosci.*, *33*, 1101–1114. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07609.x>
- Kolb, B., & Gibb, R. (2011). Brain Plasticity and Behaviour in the Developing Brain. *J. Can. Acad. Child Adolesc. Psychiatry*, *20*, 265.
- König, R., Benedetti, B., Rotheneichner, P., O’Sullivan, A., Kreutzer, C., Belles, M., Nacher, J., Weiger, T. M., Aigner, L., & Couillard-Després, S. (2016). Distribution and fate of DCX/PSA-NCAM expressing cells in the adult mammalian cortex: A local reservoir for adult cortical neuroplasticity? *Front. Biol.*, *11*, 193–213. <https://doi.org/10.1007/s11515-016-1403-5>
- Kuhl, P. K., Lim, S. S., Guerriero, S., & Van Damme, D. (2019). *Neuroscience and education: How early brain development affects school.*
- Kwok, V. P. Y., Dan, G., Yakpo, K., Matthews, S., Fox, P. T., Li, P., & Tan, L.-H. (2017). A meta-analytic study of the neural systems for auditory processing of lexical tones. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00375>
- La Rosa, C., & Bonfanti, L. (2021). Searching for alternatives to brain regeneration. *Neural Reg. Res.*, *16*, 2198–2200.
- La Rosa, C., Cavallo, F., Pecora, A., Chincarini, M., Ala, U., Faulkes, C. G., & Bonfanti, L. (2020). Phylogenetic variation in cortical layer II immature neuron reservoir of mammals. *Elife*, *9*, e55456. <https://doi.org/10.7554/eLife.55456>
- Lai, J. S., Cai, S., Feng, L., Shek, L. P., Yap, F., Tan, K. H., & Chong, M. F. (2021). Associations of maternal zinc and magnesium with offspring learning abilities and cognitive development at 4 years in GUSTO. *Nutritional Neuroscience*, *24*(6), 467–476.

- Lautarescu, A., Craig, M. C., & Glover, V. (2020). Prenatal stress: Effects on fetal and child brain development. In *International Review of Neurobiology* (Vol. 150, pp. 17–40). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.irn.2019.11.002>
- Lee, S. J., Steiner, R. J., Luo, S., Neale, M. C., Styner, M., Zhu, H., & Gilmore, J. H. (2015). Quantitative tract-based white matter heritability in twin neonates. *Neuroimage*, *111*, 123–135.
- Lenroot, R. K., Gogtay, N., Greenstein, D. K., Wells, E. M., Wallace, G. L., Clasen, L. S., Blumenthal, J. D., Lerch, J., Zijdenbos, A. P., & Evans, A. C. (2007). Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence. *Neuroimage*, *36*, 1065–1073.
- Lent, R. (2020). *Brain development and its derangements*. Brain.
- Leow, M. H., Hassan, N., Mohd Sharizal, S. A., & Razak, R. A. (2024). Active learning pedagogical dimensions: Discovering and bridging the pedagogical gaps. En *International Journal of Evaluation and Research in Education* (Vol. 13, Número 3, pp. 1850-1864). <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i3.26877>
- Leroy, J. L., Ruel, M., Habicht, J. P., & Frongillo, E. A. (2014). Linear growth deficit continues to accumulate beyond the first 1000 days in low- and middle-income countries: Global evidence from 51 national surveys. *J. Nutr.*, *144*(9), 1460–1466.
- Lewis, T. L., & Maurer, D. (2005). Multiple sensitive periods in human visual development: evidence from visually deprived children. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, *46*(3), 163–183.
- Lim, D. A., & Alvarez-Buylla, A. (2016). The adult ventricular-subventricular zone (V-SVZ) and olfactory bulb (OB) neurogenesis. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.*, *8*, a018820. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a018820>
- Lima, A. A., Kvalsund, M. P., de Souza, P. P., Figueiredo, Í. L., Soares, A. M., Mota, R. M., & Oriá, R. B. (2013). Zinc, vitamin A, and glutamine supplementation in Brazilian shantytown children at risk for diarrhea results in sex-specific improvements in verbal learning. *Clinics*, *68*(3), 351–358.
- Lindenberger, U. (2014). Human cognitive aging: Corriger la fortune? . *Science.*, *346*, 572–578. <https://doi.org/10.1126/science.1254403>
- Lipp, H. P., & Bonfanti, L. (2016). Adult neurogenesis in mammals: variations and confusions. *Brain, Behavior and Evolution*, *87*(3), 205–221.
- Liu, R., Yang, X. D., Liao, X. M., Xie, X. M., Su, Y. A., Li, J. T., Wang, X. D., & Si, T. M. (2016). Early Postnatal Stress Suppresses the Developmental Trajectory of Hippocampal Pyramidal Neurons: The Role of CRHR1. *Brain Struct. Funct.*, *221*, 4525–4536. <https://doi.org/10.1007/s00429-016-1182-4>

- Lobo, M. M., & Fernández, J. G. F. (2022). Capítulo Uno: ¿Qué entendemos por evaluación formativa? En *La evaluación formativa: Estrategias eficaces para regular el aprendizaje* (Vol. 48). Ediciones SM España.
- Loor-Llanos, L., & Peña, M. T. (2023). Fenomenología sobre la neuroeducación en el subnivel de preparatoria: Concepciones del profesorado. *Ciencia y Educación*, 7(2), <https://doi.org/10.22206/cyed.2023.v7i2.pp23-36>
- Loriette, C., Ziane, C., & Hamed, S. B. (2021). Neurofeedback for cognitive enhancement and intervention and brain plasticity. *Revue Neurologique*, 177(9), 1133-1144. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2021.08.004>
- Makhambetova, A., Zhiyenbayeva, N., & Ergesheva, E. (2021). Personalized Learning Strategy as a Tool to Improve Academic Performance and Motivation of Students. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT)*, 16(6), 1-17. <https://doi.org/10.4018/IJWLTT.286743>
- Malanchini, M., Rimfeld, K., Allegrini, A. G., Ritchie, S. J., & Plomin, R. (2020). Cognitive ability and education: How behavioural genetic research has advanced our knowledge and understanding of their association. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 111, 229–245.
- Mamani Coaquira, H., Sosa Gutierrez, F., Condori Castillo, W. W., & Cruz Huisa, R. M. (2021). Implicancias de la neuroeducación y desempeño docente: Desde la perspectiva del estudiantado. *Horizontes. Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 5(20), 1273-1287. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v5i20.276>
- Mamani, F. de M. C., & Huamaní, C. G. A. (2021). Introducción: Una nueva era de la educación. En *Herramientas Digitales para Entornos Educativos Virtuales* (27; Vol. 19, pp. 315-330). <https://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/LEX/article/view/2265>
- Martin, N. G., Eaves, L. J., Heath, A. C., Jardine, R., Feingold, L. M., & Eysenck, H. J. (1986). Transmission of social attitudes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 83(12), 4364–4368.
- Martínez Oportus, X., & Mackenzie, N. (2024). Experiencia de aprendizaje en contexto real en una asignatura de Maestría en Neuroeducación. *Latam: revista latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(3), 48.
- Martínez-González, A. E., Rodríguez, J. A. P., Delgado, B., & García-Fernández, J. M. (2018). Neuroeducation: Contributions of neuroscience to curricular competences. *Publicaciones de La Facultad de Educación y Humanidades Del Campus de Melilla*, 48(2), 23–34.
- Marzola, P., Melzer, T., Pavesi, E., Gil-mohapel, J., & Brocardo, P. S. (2023). Exploring the Role of Neuroplasticity in Development, Aging, and Neurodegeneration. *Brain Sci.*, 13, 1610. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/brainsci13121610>

- Masantiah, C., Pasiphol, S., & Tangdhanakanond, K. (2020). Student and feedback: Which type of feedback is preferable? *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 41(2), 269-274.
- Maslova, A., Koval, O., Kotliarova, V., Tkach, M., & Nadolska, Y. (2022). On the Way to Successful Learning and Teaching: Constructive Feedback. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 22 (6), Article 22 (6).
- Mathewson, K. J., Chow, C. H., Dobson, K. G., Pope, E. I., Schmidt, L. A., & Van Lieshout, R. J. (2017). Mental health of extremely low birth weight survivors: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 143(4), 347.
- Mayer, R. E. (2017). How Can Brain Research Inform Academic Learning and Instruction? *Educ. Psychol. Rev.*, 29, 835–846. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9391-1>
- McEwen, B. S. (2017). Neurobiological and Systemic Effects of Chronic Stress. *Chronic Stress*, 1. <https://doi.org/10.1177/2470547017692328>
- McEwen, B. S., & Akil, H. (2020). Revisiting the stress concept: implications for affective Disorders. *J. Neurosci.: J. Soc. Neurosci.*, 40(1), 12–21. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0733-19.2019>
- McQuail, J. A., Dunn, A. R., Stern, Y., Barnes, C. A., Kempermann, G., Rapp, P. R., Kaczorowski, C. C., & Foster, T. C. (2021). Cognitive reserve in model systems for mechanistic discovery: The importance of longitudinal studies. *Front. Aging Neurosci.*, 12, 607685. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.607685>
- Meaney, M. J. (2010). Epigenetics and the biological definition of gene× environment interactions. *Child Development*, 81(1), 41–79.
- Mefteh, K. C. (2024). Active Pedagogy and Neuroeducation: In-depth Reflections for Innovative Teaching. <https://www.intechopen.com/online-first/89288>
- Mendoza, E., Murillo, G., & Maldonado, J. (2019). Las neurociencias y la marca personal del docente en el contexto educativo actual. *Revista Órbita Pedagógica*, 6(4), 157–166. <https://doi.org/doi:0000-0003-1152-1672>
- Mendoza, L. R. M., & Martínez, M. E. M. (2020). TIC y neuroeducación como recurso de innovación en el proceso de enseñanza y aprendizaje. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales (ReHuso)*, 5(2), 85-96.
- Michael, J. (2006). Where's the evidence that active learning works? *Advances in Physiology Education*, 30(4), 159-167. <https://doi.org/10.1152/advan.00053.2006>
- Miller, D. C., Maricle, D. E., Bedford, C. L., & Gettman, J. A. (Eds.). (2022). *Best practices in school neuropsychology. Guidelines for effective practice, assessment, and evidence-based intervention*. John Wiley & Sons.

- Modesto, T., Tiemeier, H., Peeters, R. P., Jaddoe, V. W., Hofman, A., Verhulst, F. C., & Ghassabian, A. (2015). Maternal mild thyroid hormone insufficiency in early pregnancy and attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms in children. *JAMA Pediatrics*, *169*(9), 838–845. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2015.0498>
- Monk C., Georgieff M.K., & Osterholm E.A. (2013). Research Review: Maternal Prenatal Distress and Poor Nutrition—Mutually Influencing Risk Factors Affecting Infant Neurocognitive Development: Maternal Prenatal Distress and Poor Nutrition. *J. Child. Psychol. Psychiatry.* , *54*, 115–130. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12000>.
- Monk, C., Lugo-Candelas, C., & Trumpff, C. (2019). Prenatal developmental origins of future psychopathology: Mechanisms and pathways. . *Annual Review of Clinical Psychology*, *15*, 317–344.
- Montessori, M. (1912). *The Montessori Method*. [New York: Frederick A. Stokes Company,]. The Montessori Method. <https://digital.library.upenn.edu/women/montessori/method/method.html>
- Montroy, J. J., Bowles, R. P., Skibbe, L. E., McClelland, M. M., & Morrison, F. J. (2016). The development of self-regulation across early childhood. . *Dev. Psychol.* , *52*, 1744–1762. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/dev0000159>.
- Morris, A. S., Squeglia, L. M., Jacobus, J., & Silk, J. S. (2018). Adolescent brain development: Implications for understanding risk and resilience processes through neuroimaging research. *Journal of Research on Adolescence*, *1*, 4–9.
- Morton, P. D., Ishibashi, N., & Jonas, R. A. (2017). Neurodevelopmental abnormalities and congenital heart disease insights into altered brain maturation. *Circ. Res.* , *120*, 960–977. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.309048>
- Mubuuke, A. G., Louw, A. J. N., & Van Schalkwyk, S. (2016). Utilizing students’ experiences and opinions of feedback during problem based learning tutorials to develop a facilitator feedback guide: An exploratory qualitative study. *BMC Medical Education*, *16*(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s12909-015-0507-y>
- Muchiut, Á., Vaccaro, P., Pietto, M., & Dri, C. (2021). Prácticas pedagógicas orientadas a favorecer las funciones ejecutivas en adolescentes. *JONED. Journal of Neuroeducation*, *2*(2), 30–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1344/joned.v2i1.32164>
- Muhammad, S. A., Asadullah, J., & Yousufi, S. Q. (2023). Factors affecting students’ learning performance through collaborative learning and engagement. *Interactive Learning Environments*, *31*(4), 2371-2391. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1884886>
- Muñoz P., & Humeres A. (2012). Iron Deficiency on Neuronal Function. *Biometals*, *25*, 825–835. <https://doi.org/10.1007/s10534-012-9550-x>
- Murdock, A. (n.d.). *The evolutionary advantage of the teenage brain*. University of California.

- Murty, V. P., Calabro, F., & Luna, B. (2016). The role of experience in adolescent cognitive development: Integration of executive, memory, and mesolimbic systems. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 70, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.07.034>
- Nieves Fragozo, I. L. (2024). La Neuroeducación en la Práctica Pedagógica: Una Revisión Sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 6065-6085. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.11023
- Nissensohn, M., Sánchez-Villegas, A., Fuentes Lugo, D., Henriquez Sanchez, P., Doreste Alonso, J., Skinner, A. L., & Serra-Majem, L. (2013). Effect of zinc intake on mental and motor development in infants: a meta-analysis. *Int J Vitam Nutr Res.*, 83(4), 203–215. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000161>
- O’Leary, J. D., Hoban, A. E., Murphy, A., O’Leary, O. F., Cryan, J. F., & Nolan, Y. M. (2019). Differential effects of adolescent and adult-initiated exercise on cognition and hippocampal neurogenesis. *Hippocampus*, 29, 352–365. <https://doi.org/10.1002/hipo.23032>
- Obernier, K., Tong, C. K., & Alvarez-Buylla, A. (2014). Restricted nature of adult neural stem cells: Re-evaluation of their potential for brain repair. *Front. Neurosci.*, 8, 162. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00162>
- OECD. (2007). *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*. OECD. <https://doi.org/doi:10.1787/9789264029132-en>
- Olofin, I., McDonald, C. M., Ezzati, M., Flaxman, S., Black, R. E., Fawzi, W. W., & Nutrition Impact Model Study (anthropometry cohort pooling). (2013). Associations of suboptimal growth with all-cause and cause-specific mortality in children under five years: A pooled analysis of ten prospective studies. *PLoS ONE*, 8(5), e64636.
- Oomen, C. A., Mayer, J. L., De Kloet, E. R., Joëls, M., & Lucassen, P. J. (2007). Brief Treatment with the Glucocorticoid Receptor Antagonist Mifepristone Normalizes the Reduction in Neurogenesis after Chronic Stress. *Eur. J. Neurosci.*, 26, 3395–3401. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2007.05972.x>
- Ostrosky, F. (2015). *Desarrollo del cerebro*. Neurociencias. Honduras: Universidad Nacional Autónoma.
- Pan, Y. H., Wu, N., & Yuan, X. B. (2019). Toward a better understanding of neuronal migration deficits in autism spectrum disorders. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 7, 205.
- Panchi, M. R. (2023). Estrategia pedagógica activa para el aprendizaje significativo de la asignatura educación cultural y artística. *593 Digital Publisher CEIT*, 8(1), 199-212.
- Pangastuti, D., Widiasih, N., & Soemantri, D. (2022). Piloting a constructive feedback model for problem-based learning in medical education. *Korean Journal of Medical Education*, 34(2), 131-143. <https://doi.org/10.3946/kjme.2022.225>

- Panizzon, M. S., Fennema-Notestine, C., Eyler, L. T., Jernigan, T. L., Prom-Wormley, E., Neale, M., & Kremen, W. S. (2009). Distinct genetic influences on cortical surface area and cortical thickness. *Cerebral Cortex*, *19*(11), 2728–2735.
- Paredes, M. F., Sorrells, S. F., Garcia-Verdugo, J. M., & Alvarez-Buylla, A. (2016a). Brain size and limits to adult neurogenesis. *J. Comp. Neurol.*, *524*, 646–664.
<https://doi.org/10.1002/cne.23896>
- Paredes, M. F., Sorrells, S. F., Garcia-Verdugo, J. M., & Alvarez-Buylla, A. (2016b). Brain size and limits to adult neurogenesis. *J. Comp. Neurol.*, *524*, 646–664.
<https://doi.org/10.1002/cne.23896>
- Paricahua-Peralta, J. N., Mora-Estrada, O., Isuiza-Perez, D. D., Lazo-Herrera, T. A., & Atahuaman-Estrella, S. M. (2023). Neuroeducación en la práctica educativa y satisfacción en los estudiantes de una Universidad Pública Peruana. *Revista Universidad y Sociedad*, *15*(4), 413–420.
- Parolisi, R., Cozzi, B., & Bonfanti, L. (2018). Humans and dolphins: Decline and fall of adult neurogenesis. *Front. Neurosci.*, *12*, 497. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00497>
- Patel, Y., Shin, J., Abé, C., Agartz, I., Alloza, C., Alnæs, D., & Skoch, A. (2022). Virtual ontogeny of cortical growth preceding mental illness. *Biological Psychiatry*, *92*(4), 299–313.
- Paus T. (2013). *Population Neuroscience*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg .
- Paus, T., Keshavan, M., & Giedd, J. N. (2008). Why do many psychiatric disorders emerge during adolescence? . *Nat. Rev. Neurosci.*, *9*, 947–957. <https://doi.org/10.1038/nrn2513>
- Pearce, E. N., Lazarus, J. H., Moreno-Reyes, R., & Zimmermann, M. B. (2016). Consequences of iodine deficiency and excess in pregnant women: an overview of current knowns and unknowns. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *104*, 918S-923S.
<https://doi.org/10.3945/ajcn.115.110429>
- Peng, H., Ma, S., & Spector, J. M. (2019). Personalized adaptive learning: An emerging pedagogical approach enabled by a smart learning environment. *Smart Learning Environments*, *6*(1), 9.
<https://doi.org/10.1186/s40561-019-0089-y>
- Perdue, M. V., Mahaffy, K., Vlahcevic, K., Wolfman, E., Erbeli, F., Richlan, F., & Landi, N. (2022). Reading Intervention and Neuroplasticity: A Systematic Review and Meta-Analysis of Brain Changes Associated with Reading Intervention. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, *132*, 465–494.
- Peretto, P., Giachino, C., Aimar, P., Fasolo, A., & Bonfanti, L. (2005). Chain formation and glial tube assembly in the shift from neonatal to adult subventricular zone of the rodent forebrain. *Journal of Comparative Neurology*, *487*(4), 407–427. <https://doi.org/10.1002/cne.20576>

- Peruzzolo, S., & Costa, G. (2015). Estimulação precoce: contribuição na aprendizagem e no desenvolvimento de crianças com deficiência intelectual. *Revista de Educação Do Deau*, 10(21). http://www.ideau.com.br/getulio/restrito/upload/revistasartigos/246_1.pdf
- Peterson, B. S., Rauh, V. A., Bansal, R., Hao, X., Toth, Z., Nati, G., Walsh, K., Miller, R. L., Arias, F., Semanek, D., & Perera, F. (2015). Effects of prenatal exposure to air pollutants (polycyclic aromatic hydrocarbons) on the development of brain white matter, cognition, and behavior in later childhood. *JAMA Psychiatry*, 72(6), 531–540.
- Petrosini, L., De Bartolo, P., Foti, F., Gelfo, F., Cutuli, D., Leggio, M. G., & Mandolesi, L. (2009). On Whether the Environmental Enrichment May Provide Cognitive and Brain Reserves. *Brain Res. Rev.*, 61, 221–239.
- Piaget, J. (1937). *La construcción du réel chez l'enfant*. Delachaux y Niestlé.
- Piaget, J. . (1978). Introducción a la epistemología genética, 1. El pensamiento matemático. In M. Corredor (Ed.), *Epistemología y sociogénesis de la geometría*. (2 ed.). Paidós.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1997). *Psicología del niño*. Ediciones Morata, s. l.
- Pizzagalli, D. A. . (2014). Depression, stress, and anhedonia: toward a synthesis and integrated model. *Annu. Rev. Clin. Psychol.*, 10, 393–423. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-050212-185606>.
- Pollitt, E., Gorman, K. S., Engle, P. L., Martorell, R., Rivera, T., Wachs, T. D., & Scrimshaw, N. S. (1993). Early supplementary feeding and cognition: Effects over two decades. *Monogr. Soc. Res. Child Dev.*, 58, 1–99. <https://doi.org/10.2307/1166162>
- Potten, C. S., & Loeffler, M. (1990). Stem cells: Attributes, cycles, spirals, pitfalls and uncertainties. Lessons for and from the crypt. *Development.*, 110, 1001–1020. <https://doi.org/10.1242/dev.110.4.1001>
- Prado, J. F. (2020). Aplicabilidad de las neurociencias para fortalecer el desempeño escolar en los estudiantes en la escuela primaria. *Revista Conrado*, 16(75), 425–430.
- Prieto, A., Barbarroja Escudero, J., Corell, A., & Álvarez Álvarez, S. (2021). Eficacia del modelo de aula invertida (flipped classroom) en la enseñanza universitaria: Una síntesis de las mejores evidencias. *Revista de educación*, 39, 149-177.
- Pulli, E. P., Kumpulainen, V., Kasurinen, J. H., Korja, R., Merisaari, H., Karlsson, L., Parkkola, R., Saunavaara, J., Lähdesmäki, T., Scheinin, N., Karlsson, H., & Tuulari, J. (2019). Prenatal exposures and infant brain: Review of magnetic resonance imaging studies and a population description analysis. *Human Brain Mapping*, 40(6), 1987-2000.
- Qiu, D., Tan, L. H., Zhou, K., & Khong, P. L. (2008). Diffusion tensor imaging of normal white matter maturation from late childhood to young adulthood: voxel-wise evaluation of mean diffusivity, fractional anisotropy, radial and axial diffusivities, and correlation with reading

- development. . *Neuroimage* , 41, 223–232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.023>
- Ranz-Alagarda, D., & Giménez-Beut, J. A. (2019). Principios Educativos y Neuroeducación: una fundamentación desde la ciencia. *EDETANIA*, 55, 155–180.
- Raznahan, A., Lerch, J. P., Lee, N., Greenstein, D., Wallace, G. L., Stockman, M., Clasen, L., Shaw, P. W., & Giedd, J. N. (2011b). Patterns of coordinated anatomical change in human cortical development: A longitudinal neuroimaging study of maturational coupling. *Neuron*, 72, 873–884.
- Raznahan, A., Shaw, P., Lalonde, F., Stockman, M., Wallace, G. L., Greenstein, D., Clasen, L., Gogtay, N., & Giedd, J. N. (2011a). How does your cortex grow? *J Neurosci* , 31, 7174–7177.
- Reyes, G. R. B. (2021). El aprendizaje significativo como estrategia didáctica para la enseñanza–aprendizaje. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(5), 75-86.
- Robinson, S. M., Crozier, S. R., Miles, E. A., Gale, C. R., Calder, P. C., Cooper, C., & Godfrey, K. M. (2018). Preconception maternal iodine status is positively associated with IQ but not with measures of executive function in childhood. *The Journal of Nutrition*, 148(6), 959–966. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy054>
- Rodríguez Colmenares, D. A., & Almanza Vides, R. (2021). Plan de formación docente para la aplicación de estrategias fundamentadas en la neuroeducación en el contexto universitario. *REDHECS: Revista electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social*, 29(19), 25-47.
- Rodríguez, A., Pino Tarragó, J. C., Maldonado Zúñiga, K., & Venegas Loor, L. V. (2021). Evaluación formativa de los procesos cognitivos con paradigma constructivista mediante Mapa Cognitivo Difuso. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 14(8), 130-142.
- Román, F., & Poenitz, V. (2018). La neurociencia aplicada a la educación: Aportes, desafíos y oportunidades en América Latina. *RELAdEI. Revista Latinoamericana de Educación Infantil*, 7(1), 88-93.
- Romano, A. (2023). Pratiche di progettazione didattica inclusiva e adattiva all’università. Verso la costruzione di un repertorio metodologico. *Annali online della Didattica e della Formazione Docente*, 15(25), Article 25. <https://doi.org/10.15160/2038-1034/2682>
- Romeo, R. R., Christodoulou, J. A., Halverson, K. K., Murtagh, J., Cyr, A. B., Schimmel, C., Chang, P., Hook, P. E., & Gabrieli, J. D. E. (2018). Socioeconomic Status and Reading Disability: Neuroanatomy and Plasticity in Response to Intervention. *Cereb. Cortex*, 28, 2297–2312.

- Romer, D., Reyna, V. F., & Satterthwaite, T. D. (2017). Beyond stereotypes of adolescent risk taking: Placing the adolescent brain in developmental context. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 27, 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.07.007>
- Romero, E., Calderón, E. C., Pérez, V. V., Micó-Vicent, B., Lozano, O., & Verdú, F. M. (2016). *Diseño de guías docentes con una metodología híbrida para la mejora del aprendizaje personalizado*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Dise%C3%B1o-de-gu%C3%ADas-docentes-con-una-metodolog%C3%ADa-para-Romero-Calder%C3%B3n/9548caf61bddbf16ad4402c002656606b180d69d>
- Ryoo, J., & Winkelmann, K. (2021). *Innovative learning environments in STEM higher education: Opportunities, challenges, and looking forward*. Springer
- Rosa, A. C. F. de la. (2023). Experiencias en México que muestran cómo desde la neuroeducación se logra potenciar las competencias éticas y ciudadanas en los alumnos de Formación Profesional. *Journal of Neuroeducation*, 3(2). <https://doi.org/10.1344/joned.v3i2.40762>
- Rotheneichner, P., Belles, M., Benedetti, B., König, R., Dannehl, D., Kreutzer, C., Zaubmair, P., Engelhardt, M., Aigner, L., & Nacher, J. (2018). Cellular plasticity in the adult murine piriform cortex: Continuous maturation of dormant precursors into excitatory neurons. *Cereb. Cortex.* , 28, 2610–2621. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhy087>
- Rueda, C. (2020). Neuroeducation: Teaching with the brain. *Journal of Neuroeducation*, 1, 108–113.
- Russell G., & Lightman S. (2019). The Human Stress Response. *Nat. Rev. Endocrinol.* , 15, 525–534. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0228-0>
- Ryoo, J., & Winkelmann, K. (2021). Personalized and Adaptive Learning. En *Innovative learning environments in STEM higher education: Opportunities, challenges, and looking forward* (pp. 17–35). Springer Nature. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/47325>
- Salas, R. (2003). ¿La educación necesita realmente de la Neurociencia? *Revista Estudios Pedagógicos*, 155–171.
- Sale, A., Berardi, N., & Maffei, L. (2009). Enrich the environment to empower the brain. *Trends Neurosci.* , 32, 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2008.12.004>
- Salzberg, S. L. (2018). Open questions: how many genes do we have? *BMC Biol.* 16:94. , 16, 94. <https://doi.org/10.1186/s12915-018-0564-x>
- Samuels, B. A., & Hen, R. (2011). Neurogenesis and Affective Disorders. *Eur. J. Neurosci.* , 33, 1152–1159. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07614.x>
- Sanai, N., Nguyen, T., Ihrie, R. A., Mirzadeh, Z., Tsai, H.-H., Wong, M., Gupta, N., Berger, M. S., Huang, E., & Garcia-Verdugo, J. M. (2011). Corridors of migrating neurons in the human brain and their decline during infancy. *Nature*, 478, 382–386. <https://doi.org/10.1038/nature10487>

- Sánchez-Pacheco, C. L. (2022). La neureducación y sus aportes en la educación contemporánea. *EV SOS*, 1(2), 3–14. <https://doi.org/10.57175/evsos.v1i2.15>
- Sandrone, S., & Carlson, C. (2021). Gamification and game-based education in neurology and neuroscience: Applications, challenges, and opportunities. *Brain Disorders*, 1, 100008. <https://doi.org/10.1016/j.dscb.2021.100008>
- Schor, N. F., & Bianchi, D. W. (2021). Neurodevelopmental clues to neurodegeneration. *Pediatr. Neurol.*, 123, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2021.07.012>
- Schwabe, L., & Wolf, O. T. (2014). Timing matters: Temporal dynamics of stress effects on memory retrieval. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 14(3), 1041–1048. <https://doi.org/10.3758/s13415-014-0256-0>
- Seixas, S. (2014). Neurobiologia das Relações Precoces à Neuroeducação. *Revista Interações*, 10(30), 44–71. <http://revistas.rcaap.pt/interaccoes/article/view/4025>
- Selemon, L. D., & Zecevic, N. (2015). Schizophrenia: A tale of two critical periods for prefrontal cortical development. *Transl. Psychiatry.*, 5, e623. <https://doi.org/10.1038/tp.2015.115>
- Setia, H., & Muotri, A. R. (2019). Brain organoids as a model system for human neurodevelopment and disease. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 95, 93–97.
- Shemshack, A., & Spector, J. M. (2020). A systematic literature review of personalized learning terms. *Smart Learning Environments*, 7(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s40561-020-00140-9>
- Shin, D. D., & Kim, S. (2019). Homo Curious: Curious or Interested? *Educational Psychology Review*, 31(4), 853–874. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09497-x>
- Siegmund, K. D., Connor, C. M., Campan, M., Long, T. I., Weisenberger, D. J., Biniszkiwicz, D., Jaenisch, R., Laird, P., & Akbarian, S. (2007). DNA methylation in the human cerebral cortex is dynamically regulated throughout the life span and involves differentiated neurons. *PLoS One*, 2(9), e895.
- Sierra, E., & León, M. (2019). Plasticidad cerebral, una realidad neuronal. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar Del Río*, 23(4), 599–609. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-31942019000400599&lng=es&tlng=es
- Sigman, M., Pena, M., Goldin, A. P., & Ribeiro, S. (2014). Neuroscience and education: prime time to build the bridge. *Nat. Neurosci.*, 17, 497–502. <https://doi.org/doi:10.1038/nn.3672>
- Simmons, R. A. (2009). Developmental origins of adult disease. *Pediatr Clin North Am.*, 56(3), 449–466. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2009.03.004>
- Smit, D. J., Luciano, M., Bartels, M., Van Beijsterveldt, C. E., Wright, M. J., Hansell, N. K., & Boomsma, D. I. (2010). Heritability of head size in Dutch and Australian twin families at ages 0–50 years. *Twin Research and Human Genetics*, 13(4), 370–380.

- Smith, K. E., & Pollak, S. D. . (2020). Rethinking concepts and categories for understanding the neurodevelopmental effects of childhood adversity. *Perspect. Psychol. Sci.* .
<https://doi.org/10.1177/1745691620920725>
- Snyder, J. S. (2019). Recalibrating the relevance of adult neurogenesis. *Trends in Neurosciences*, 42(3), 164–178. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2018.12.001>
- Sowell, E. R., Peterson, B. S., Kan, E., Woods, R. P., Yoshii, J., & Bansal, R. (2007). Sex differences in cortical thickness mapped in 176 healthy individuals between 7 and 87 years of age. *Cereb Cortex* , 17, 1550–1560.
- Sowell, E. R., Peterson, B. S., Thompson, P. M., Welcome, S. E., Henkenius, A. L., & Toga, A. W. (2003). Mapping Cortical Change across the Human Life Span. *Nat. Neurosci.* , 6, 309–315. <https://doi.org/10.1038/nm1008>
- Steinberg, L. (2019). *Adolescence 12th edition*. McGraw-Hill Education.
- Strain, J. J., McSorley, E. M., van Wijngaarden, E., Kobrosly, R. W., Bonham, M. P., Mulhern, M. S. , & Myers, G. J. (2013). Choline status and neurodevelopmental outcomes at 5 years of age in the Seychelles Child Development Nutrition Study. *British Journal of Nutrition*, 110(2), 330–336. <https://doi.org/10.1017/S0007114512005077>
- Strike, L. T., Couvy-Duchesne, B., Hansell, N. K., Cuellar-Partida, G., Medland, S. E., & Wright, M. J. (2015). Genetics and brain morphology. *Neuropsychology Review*, 25, 63–96.
- Sunyer, J., Esnaola, M., Alvarez-Pedrerol, M., Forns, J., Rivas, I., López-Vicente, M., Suades-González, E., Foraster, M., Garcia-Esteban, R., Basagaña, X., Viana, M., Cirach, M., Moreno, T., Alastuey, A., Sebastian-Galles, N., Nieuwenhuijsen, M., & Querol, X. (2015). Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: a prospective cohort study. *PLoS Med.* , 12(3), e1001792.
- Takagi, Y., Okada, N., Ando, S., Yahata, N., Morita, K., Koshiyama, D., & Tanaka, S. C. (2021). Intergenerational transmission of the patterns of functional and structural brain networks. *IScience*, 24(7).
- Tamnes, C. K. (2017). Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology. In *Postnatal brain maturation* (pp. 1–8).
- Tamnes, C. K., Østby, Y., Fjell, A. M., Westlye, L. T., Due-Tønnessen, P., & Walhovd, K. B. (2010). Brain maturation in adolescence and young adulthood: Regional age-related changes in cortical thickness and white matter volume and microstructure. . *Cereb Cortex* , 20, 534–548.
- Tamnes, C. K., Walhovd, K. B., Dale, A. M., Østby, Y., Grydeland, H., Richardson, G., Westlye, L. T., Roddey, J. C., Hagler, J. D. J., & Due-Tønnessen, P. (2013). Brain development and aging: Overlap- ping and unique patterns of change. *Neuroimage* , 68, 63–74.

- Tapia, F., & Arias, L. (2021). El aprendizaje basado en objetos como estrategia para la enseñanza de la historia en Educación Primaria: un estudio cuasiexperimental. *Espiral. Cuadernos Del Profesorado*, 14(8), 44–56. <https://doi.org/10.25115/ecp.v14i28.3928>
- Tapia-Arancibia, L., Aliagad, E., Silhol, M., & Arancibia, S. (2008). New insights into brain BDNF function in. normal aging and Alzheimer disease. *Brain Res. Rev.* , 59, 201–220. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.007>
- Teh, A. L., Pan, H., Chen, L., Ong, M. L., Dogra, S., Wong, J., & Holbrook, J. D. (2014). The effect of genotype and in utero environment on interindividual variation in neonate DNA methylomes. . *Genome Research*, 24(7), 1064–1074.
- Theodosis, D. T., Rougon, G., & Poulain, D. A. (1991). Retention of embryonic features by an adult neuronal system capable of plasticity: polysialylated neural cell adhesion molecule in the hypothalamo-neurohypophysial system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(13), 5494–5498. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.13.5494>
- Thomas, M. S. C., & Ansari, D. (2020). Educational Neuroscience: Why Is Neuroscience Relevant to Education? En *Educational Neuroscience*. Routledge.
- Thomas, M. S. C., Ansari, D., & Knowland, V. C. P. (2019). Annual Research Review: Educational neuroscience: progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60(4), 477–492. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>
- Thomas, S. C., Ansari, D., & Knowland, C. P. (2019). Annual Research Review: educational neuroscience: progress and prospects. *J. Child Psychol. Psychiatry*, 60, 477–492. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>
- Thompson, P. M., Jahanshad, N., Ching, C. R., Salminen, L. E., Thomopoulos, S. I., Bright, J., & Sønderby, I. E. (2020). *ENIGMA and global neuroscience: A decade of large-scale studies of the brain in health and disease across more than 40 countries*. 10(1), 100.
- Todorich B., Pasquini J.M., Garcia C.I., Paez P.M., & Connor J.R. (2009). Oligodendrocytes and Myelination: The Role of Iron. *Glia*, 57, 467–478. <https://doi.org/10.1002/glia.20784>
- Toga, A. W., Thompson, P. M., & Sowell, E. R. (2006). Mapping brain maturation. *Trends Neurosci.*, 29(3), 148–159.
- Tokuhamma-Espinosa, T. (2011). *Mind, Brain, And Education Science: a Comprehensive Guide To The New Brain-Based Teaching*. WW Norton and Company.
- Tokuhamma-Espinosa, T. (2012). What neuroscience says about personalized learning. *Educational Leadership*, 69(5), 1-4.
- Tokuhamma-Espinosa, T. (2014). *Making Classrooms Better: 50 Practical Applications of Mind, Brain, and Education Science*. W.W. Norton and Company.

- Torres, C. I. (2021). Conectivismo y neuroeducación: Transdisciplinas para la formación en la era digital. *Ciencia ergo-sum*, 28(1), Article 1. <https://doi.org/10.30878/ces.v28n1a11>
- Tottenham, N., & Galván, A. (2016). Stress and the adolescent brain: Amygdala-prefrontal cortex circuitry and ventral striatum as developmental targets. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 70, 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.07.030>
- Tramontin, A. D., García-Verdugo, J. M., Lim, D. A., & Alvarez-Buylla, A. (2003). Postnatal development of radial glia and the ventricular zone (VZ): a continuum of the neural stem cell compartment. *Cerebral Cortex*, 13(6), 580–587. <https://doi.org/10.1093/cercor/13.6.580>
- Turkheimer, E. (2000). Three laws of behavior genetics and what they mean. *Current Directions in Psychological Science*, 9(5), 160–164.
- UNICEF. (2017). *La primera infancia importa para cada niño*. https://www.unicef.org/peru/sites/unicef.org/peru/files/2019-01/La_primera_infancia_importa_para_cada_nino_UNICEF.pdf
- UNICEF. (2020, June 18). *Unicef for every child. Nutrition's lifelong impact*. UNICEF.
- Urbán, N., & Guillemot, F. (2014). Neurogenesis in the embryonic and adult brain: same regulators, different roles. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 8, 396. <https://doi.org/10.3389/fncel.2014.00396>
- US Department of Health and Human Services. (2023). *The Teen Brain: 7 Things to Know*.
- Van Duijvenoorde, A. C. K., Peters, S., Braams, B. R., & Crone, E. A. (2016). What motivates adolescents? Neural responses to rewards and their influence on adolescents' risk taking, learning, and cognitive control. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 70, 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.12.010>
- Van Eimeren, L., Niogi, S. N., McCandliss, B. D., Holloway, I. D., & Ansari, D. (2008). White matter microstructures underlying mathematical abilities in children. *Neuroreport*, 19, 1117–1121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e328307f5c1>
- Vargas, R. A. V. (2018). Neurociencias y educación: Brechas, desafíos y perspectivas. *Papeles*, 10(20), 39-52.
- Velásquez, M., & Piñango, A. (2013). Cómo aprende el cerebro: un interesante recorrido a través de los aportes de la neurociencia cognitiva al área educativa. *Revista Universitaria de Investigación*, 14(1), 133–135.
- Velichová, D., & Gabková, J. (1962). EduScrum method in teaching mathematics to engineering students. *The 47th SEFI Annual Conference Proceedings*, 1971.
- Victoria, C., Adair, L., Fall, C., Hallal, P., Martorell, R., & Richter, L. (2008). Maternal and child undernutrition: Consequences for adult health and human capital. *Lancet*, 371, 340–357.
- Vos, J. D. (2016). ¿Dónde está la educación en la neuroeducación? *Teoría y Crítica de la*

Psicología, 8, Article 8.

- Voss, P., Thomas, M. E., Cisneros-Franco, J. M., & de Villers-Sidani, É. (2017). Dynamic Brains and the Changing Rules of Neuroplasticity: Implications for Learning and Recovery. *Front. Psychol.*, 8, 1657.
- Vuoksima, E., Panizzon, M. S., Hagler Jr, D. J., Hatton, S. N., Fennema-Notestine, C., Rinker, D., & Kremen, W. S. (2017). Heritability of white matter microstructure in late middle age: A twin study of tract-based fractional anisotropy and absolute diffusivity indices. *Human Brain Mapping*, 38(4), 2026–2036.
- Vygotsky, L. (1931). *Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores. Obras Escogidas Tomo III* (Tomo III).
- Vygotsky, L. (1989). El desarrollo de los procesos psicologicos superiores. Barcelona: Crítica. In P. A. Arcilla, Y. L. Mendoza, M. Jaramillo, & O. E. Cañón (Eds.), *Comprensión del significado desde Vygotsky, Bruner y Gergen. Diversitas vol.6 no.1*.
- Walhovd, K. B., Tamnes, C. K., & Fjell, A. M. (2014). Brain structural maturation and the foundations of cognitive behavioral development. *Curr. Opin. Neurol*, 27, 176–184. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000074>
- Wang, M.-T., & Hofkens, T. L. (2020). Beyond Classroom Academics: A School-Wide and Multi-Contextual Perspective on Student Engagement in School. *Adolescent Research Review*, 5(4), 419-433. <https://doi.org/10.1007/s40894-019-00115-z>
- Weaver, B. A., Feng, Q., Holmes, K. K., Kiviat, N., Lee, S. K., Meyer, C., Stern, M., & Koutsky, L. A. (2004). Evaluation of genital sites and sampling techniques for detection of human papillomavirus DNA in men. *The Journal of Infectious Diseases*, 189(4), 677-685., 189(4), 677–685.
- Weniger, G., Lange, C., Sachsse, U., & Irle, E. (2008). Amygdala and hippocampal volumes and cognition in adult survivors of childhood abuse with dissociative disorders. *Acta Psychi- Atr Scand*, 118, 281–290.
- White, E. J., Hutka, S. A., Williams, L. J., & Moreno, S. (2013). Learning, neural plasticity and sensitive periods: implications for language acquisition, music training and transfer across the lifespan. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 7, 90.
- White, H. A., Highfill, L., Johnston, L. C., & Kalimi, A. (2022). Cognitive Calisthenics: Pre-lecture Cognitive Exercise Boosts Learning. *Teaching of Psychology*, 51(2), 180–187. <https://doi.org/10.1177/00986283221084907>
- Whiting, S. B., Wass, S. V, Green, S., & Thomas, M. S. C. (2021). Stress and Learning in Pupils: Neuroscience Evidence and its Relevance for Teachers. *Mind, Brain and Education*, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/mbe.12282>

- Wierenga, L. M., Langen, M., Oranje, B., & Durston, S. (2014). Unique developmental trajectories of cortical thickness and surface area. *Neuroimage*, *87*, 120–126.
- Wilson, D., & Conyers, M. (2020). The Body-Brain System at Work for Learning. En *Five Big Ideas for Effective Teaching: Connecting Mind, Brain, and Education Research to Classroom Practice* (pp. 92-111). Teachers College Press.
- Winkler, A. M., Kochunov, P., Blangero, J., Almasy, L., Zilles, K., Fox, P. T., & Glahn, D. C. (2010). Cortical thickness or grey matter volume? The importance of selecting the phenotype for imaging genetics studies. *Neuroimage*, *53*(3), 1135-1146.
- Workman, A. D., Charvet, C. J., Clancy, B., Darlington, R. B., & Finlay, B. L. (2013). Modeling transformations of neurodevelopmental sequences across mammalian species. *J. Neurosci.*, *33*, 7368–7383. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5746-12.2013>
- World Health Organization (WHO). (2024, July 5). *Malnutrition Fact Sheets*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>
- World Health Organization. (2005). *Malnutrition: quantifying the health impact at national and local levels*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2014). *Global Status Report on Violence Prevention*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2020). *Global Status Report on Preventing Violence against Children*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2022). *Updated recommendations on treatment of adolescents and children with chronic HCV infection, and HCV simplified service delivery and HCV diagnostics*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240025257>
- Wu, Y., & Schunn, C. D. (2020). From feedback to revisions: Effects of feedback features and perceptions. *Contemporary Educational Psychology*, *60*, 101826. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101826>
- Xu, J., & Zhong, B. (2018). Review on portable EEG technology in educational research. *Computers in Human Behavior*, *81*, 340-349.
- Xu, J., Yin, X., Ge, H., Han, Y., Pang, Z., Liu, B., & Friston, K. (2017). Heritability of the effective connectivity in the resting-state default mode network. *Cerebral Cortex*, *27*(12), 5626–5634.
- Yambayamba, K. E. S., & Phiri, J. (2020). Importance of Nutrition in Brain Development and its Nexus with Socio-Economic Development. In *Multidisciplinary Journal* (Vol. 1, Issue 1). <https://research.mu.ac.zm/research/index.php/mu>
- Youdim, M. B., & Yehuda, S. (2000). The neurochemical basis of cognitive deficits induced by brain iron deficiency: involvement of dopamine-opiate system. *Cellular and Molecular Biology (Noisy-Le-Grand, France)*, *46*(3), 491–500.

- Yusmaliana, D., Suyadi, Widodo, H., & Suryadin, A. (2020). Creative imagination base on neuroscience: A development and validation of teacher's module in covid-19 affected schools. *Universal Journal of Educational Research*, 8(11), 5849–5858. <https://doi.org/https://doi.org/10.13189/ujer.2020.082218>
- Zacharoula, M. (2016). *Recent Advances in Science and Technology Education, Ranging From Modern Pedagogies to Neuroeducation and Assessment*. Cambridge Scholars Publishing.
- Zeanah, C. H., Gunnar, M. R., McCall, R. B., Kreppner, J. M., & Fox, N. A. (2011). Sensitive periods. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 76(4), 147–162.
- Zeisel, S. H. (2009). Importance of methyl donors during reproduction. *Am. J. Clin. Nutr.*, 89, 673–677.
- Zhang, J., Xia, K., Ahn, M., Jha, S. C., Blanchett, R., Crowley, J. J., & Knickmeyer, R. C. (2021). Genome-wide association analysis of neonatal white matter microstructure. *Cerebral Cortex*, 31(2), 933-948.
- Zhang, L., Basham, J. D., & Yang, S. (2020). Understanding the implementation of personalized learning: A research synthesis. *Educational Research Review*, 31, 100339. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100339>
- Zhao, T. C., & Kuhl, P. K. (2016). Effects of enriched auditory experience on infants' speech perception during the first year of life. *Prospects*, 46, 235-247, 46, 235–247.
- Zheng, L., Fleith, M., Giuffrida, F., O'Neill, B. V., & Schneider, N. (2019). Dietary polar lipids and cognitive development: A narrative review. *Adv. Nutr.*, 10, 1163–1176. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz051>
- Zhou, Y., Song, H., & Ming, Gl. (2024). Genetics of human brain development. *Nat Rev Genet*, 25, 26–45. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41576-023-00626-5>
- Zimmermann, M. B. (2011). The role of iodine in human growth and development. *Semin. Cell Dev. Bio.*, 22, 645–652.
- Zolochavska, O., & Tagliatalata, G. (2016). Non-demented individuals with Alzheimer's disease neuropathology: Resistance to cognitive decline may reveal new treatment strategies. *Curr. Pharm. Des.*, 22, 4063–4068. <https://doi.org/10.2174/1381612822666160518142110>
- Zwir, I., Arnedo, J., Del-Val, C., Pulkki-Råback, L., Konte, B., & Yang, S. S. (2018). Uncovering the complex genetics of human temperament. *Mol. Psychiatry*. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0264-5>



Con el AVAL



Comisión Médica
Voluntaria del Ecuador



FRONTIERCORP
TU VISTA AL FUTURO



Descárgalo
GRATIS

Escaneando este código QR



ISBN: 978-9942-7231-7-8



9 789942 723178