

Capítulo 2

NEURODESARROLLO Y MOVIMIENTO EN LA EDUCACIÓN FÍSICA

Xitlali Torres Aguilar
Dulce Ma. Carolina Flores Olvera

NEURODESARROLLO: PROCESO INICIAL DEL MOVIMIENTO

El neurodesarrollo en la infancia o neurodesarrollo infantil es un proceso dinámico que se relaciona con factores diversos asociados a la estimulación que se reciba en edades tempranas. Föster y López en 2022 indican que, el neurodesarrollo es el proceso mediante el cual el sistema nervioso va cambiando a lo largo de la vida y que permite la aparición de funciones cada vez más complejas como moverse, pensar, hablar, relacionarse. Este proceso no es fijo ni se desarrolla de manera lineal, depende en gran medida de la interacción entre la genética y el ambiente, desde el nacimiento hasta la adultez (Leckman, 2011; Olson, 2025).

Por su parte, Loi et al. (2026) definen el neurodesarrollo como el proceso mediante el cual el sistema nervioso central y las funciones adaptativas (sensoriales, motoras,

cognitivas, comunicativas, emocionales-relacionales y sociales) maduran desde la concepción, a lo largo de los primeros 1000 días de vida, y hasta la infancia y la adultez temprana. La manera en que nos desarrollamos no depende de un solo elemento, sino de un diálogo entre lo biológico y el entorno. Por un lado, se presenta la intervención de nuestro mapa genético y los mecanismos químicos que activan o desactivan esos genes (lo que se llama epigenética). Por otro lado, influyen en el funcionamiento de nuestro cerebro el ambiente en que crecemos y las vivencias del día a día. Cada una de estas piezas puede jugar a nuestro favor, actuando como un escudo protector, o en nuestra contra, convirtiéndose en un factor de riesgo.

Este proceso se desarrolla a través de una interacción continua entre factores genéticos, epigenéticos, neurobiológicos, ambientales y experienciales, cada uno de los cuales puede actuar como factor de riesgo o protección.

Para recordar:

La neuroplasticidad es la capacidad que tiene el sistema nervioso para reorganizarse desde su estructura, función y conexiones. Esta reorganización parte de y como respuesta a estímulos intrínsecos (internos) y extrínsecos (externos) (Hortobágyi et al. 2021; Li, 2017). En términos simples, la neuroplasticidad es la capacidad que tiene el cerebro para construirse a sí mismo a través de las experiencias a las que se expone.

A partir de estos conceptos, el cerebro humano es uno de los órganos más fascinantes de la naturaleza. Considerando que todo inicia a partir de una única célula resultante de la fecundación, el cigoto, el cual al dividirse comienza a dar forma a la estructura orgánica más compleja. Para dimensionarlo, nuestro cerebro alberga cerca de 100 000 millones de neuronas, las cuales se conectan y comunican entre sí, bajo el proceso denominado sinapsis. Con ello, cada neurona funciona como un pequeño órgano que procesa información y se alía con otras para construir circuitos locales y redes de comunicación. De esta red intrincada y precisa surge nuestra capacidad de pensar, recordar, sentir y decidir el rumbo de nuestra conducta.

Duración del neurodesarrollo

Si bien la mirada del neurodesarrollo se establece en edades tempranas, o “etapas sensibles”, el cerebro tarda muchos años más de lo que se piensa en alcanzar su forma definitiva: no se logra sino hasta la juventud, entre los 20 y los 25 años. Sin embargo, durante mucho tiempo se pensó que la etapa más importante para este proceso se daba durante los meses previos al nacimiento (en etapas como la embrionaria y la fetal), puesto que la atención en las investigaciones de los científicos se centraba en estos eventos.

Por otro lado, el nacimiento no es una línea meta del proceso del neurodesarrollo. Durante la infancia, adolescencia e incluso en los primeros años de la adultez, las conexiones entre las neuronas continúan reconfigurándose de forma masiva. Esto modifica tanto la corteza cerebral (la materia gris que procesa la información) como los “cables” o “señales” que comunican las distintas zonas del cerebro (materia blanca).

A diferencia de los primates, los seres humanos nos caracterizamos por tener un periodo de crecimiento posterior al nacimiento, el cual es largo, especialmente en áreas encargadas de integrar los pensamientos complejos. En este sentido, la inteligencia y las habilidades son causa del tiempo más prolongado que tiene nuestro cerebro para moldearse a través de las experiencias de vida.

Las habilidades mentales que nos hacen únicos como seres humanos están en dos factores: el crecimiento proporcional de ciertas regiones de la corteza cerebral y la creación de redes neuronales y las conexiones entre ellas. Todo esto, gracias al tiempo extendido de desarrollo, tanto en el útero como durante la infancia y la juventud (Johnson, 1998).

Por lo tanto, se debe conocer que el cerebro nunca deja de construirse del todo; algunos mecanismos de su desarrollo permanecen durante toda la vida. Por ejemplo, la creación y el descarte de conexiones

neuronales (sinapsis). Después, a lo largo de los años, estos procesos nos permiten adaptarnos a las vivencias del día a día (plasticidad), convirtiéndose en el rasgo biológico detrás de la capacidad para aprender y guardar recuerdos a largo plazo.

Tubo neural y desarrollo temprano del Sistema Nervioso Central

La primera aproximación al desarrollo ontogénico es la descripción de los cambios anatómicos que se presentan durante el período embrionario, fetal y posnatal. El cerebro sigue un proceso general de desarrollo, el cual es típico entre los mamíferos, e inicia con la formación del tubo neural o neurulación, que poco a poco adquiere características del cerebro adulto. Aunque anatómicamente este proceso está completo en el nacimiento, el cerebro sigue creciendo aun después del parto.

Neurulación

En términos específicos, la neurulación es la etapa temprana del desarrollo embrionario, donde una lámina plana de un cúmulo de células (placa neural) se dobla y cierra para formar el tubo neural, el cual será el futuro cerebro y la médula espinal. Este pro-

ceso se da en las primeras semanas de gestación (3 a 4 semanas). Asimismo, es un proceso rápido, pero complejo.

Aparece un ensanchamiento en el ectodermo denominado placa neural. Posteriormente se produce un hundimiento a lo largo de la placa llamado surco neural. Finalmente, el surco comienza a elevarse formando pliegues neurales que se unen para conformar el tubo neural.

- Las paredes del tubo neural dan origen a las neuronas y a las células gliales.
- La cresta neural da origen a las neuronas de los ganglios sensitivos simpáticos y células gliales del sistema nervioso periférico.
- La cavidad del tubo origina los ventrículos cerebrales y el conducto por donde circula el líquido cefalorraquídeo.

Conformación regional, desarrollo temprano del Sistema Nervioso Central (SNC)

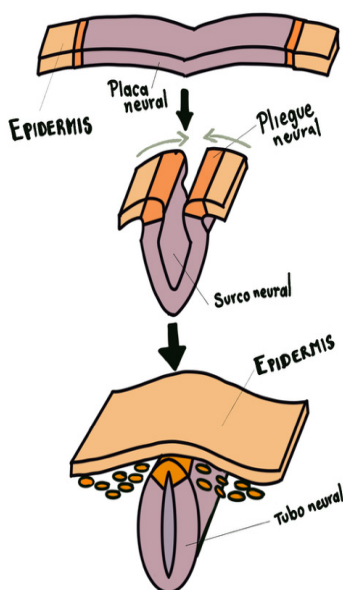
La regionalización anatómica depende directamente de la proliferación celular diferencial. Este patrón regional es una división mitótica cuyo ritmo y velocidad van a variar según la zona; actúa como el

principal motor que esculpe y modela las distintas estructuras neuroanatómicas.

Alrededor del día 20, el futuro sistema nervioso es únicamente un tubo denominado tubo neural. En poco tiempo, la parte de arriba de este tubo se infla y forma tres burbujas (llamadas vesículas primarias). Poco después, estas se dividen y se convierten en cinco burbujas (vesículas secundarias).

Estas cinco burbujas son las que finalmente se transforman en las siete regiones anatómicas del sistema nervioso adulto.

Imagen 1. Formación del tubo neural



Fuente: Elaboración propia.

El proceso se divide así, desde la cabeza hasta la espalda:

1. Burbuja delantera (prosencefalo)

Es el que más crece y se divide en dos:

- Telencefalo: el cual da origen a los hemisferios cerebrales (la corteza cerebral, lo que comúnmente se asocia al “cerebro pensante”)
- Diencefalo: el cual da origen a estructuras profundas como el tálamo y el hipotálamo (el centro de control de emocional y hormonal)

2. La burbuja de en medio (mesencefalo).

Esta no se divide; se queda como una sola estructura con el mismo nombre y da origen a los pedúnculos cerebrales (zonas clave que conectan el cerebro con el tronco encefálico).

3. La burbuja trasera (rombencefalo)

Se divide para formar la base del cerebro y el inicio de la nuca:

- Metencefalo: da origen a la protuberancia (puente troncoencefálico) y al cerebelo (coordinador del equilibrio y el movimiento).
- Mielsefalo: se convierte en el bulbo raquídeo (que controla funciones vitales automáticas como respirar)

4. Región caudal.

Es la cola del tubo, la cual no se infla de burbujas, sino que se estira para convertirse en la médula espinal, que corre a lo largo de la columna.

Las cavidades: A medida que estas burbujas crecen, el espacio hueco que queda dentro de ellas no desaparece; se convierte en el "sistema ventricular", una serie de cámaras interconectadas por donde circula el líquido cefalorraquídeo que protege al cerebro.

Imagen 2. Proceso de desarrollo.



Fuente: Elaboración propia.

Este proceso de pliegues y expansión ocurre durante los nueve meses de gestación, logrando que un tubo celular termine en su consolidación como el órgano más complejo del ser humano.

CONFORMACIÓN NEURONAL Y COORDINACIÓN MOTRIZ

El origen y la organización del tejido nervioso se fundamentan en dos acciones biológicas concretas: la cantidad de células disponibles y la identidad específica que adquiere cada una de ellas. La dotación celular inicial se consigue a través de la proliferación neuronal durante las etapas tempranas del desarrollo. Por su parte, la organización y especificidad del tejido se logran gracias a la migración, que posiciona a las neuronas en sus respectivas capas cerebrales, y a la diferenciación, que define su estructura y función.

Proliferación neuronal (neurogénesis)

La proliferación neuronal, o también llamada neurogénesis, se refiere al proceso mediante el cual se forman las neuronas que constituirán el cerebro y el sistema nervioso. Esto es uno de los primeros eventos y el más importante en el desarrollo cerebral, ya que determina cuántas neuronas estarán disponibles para construir las redes que, posteriormente, harán posible el aprendizaje, la memoria, el movimiento, el lenguaje y todas las funciones cognitivas.

Se estima que el cerebro humano llegará a contener aproximadamente 86 mil millones de neuronas. Este

proceso ocurre con precisión, considerando que no solo se debe generar una gran cantidad de células nerviosas, sino que también debe ocurrir en el momento adecuado y en regiones del cerebro específicas.

Las células que originan las neuronas se denominan "células progenitoras neurales". Inicialmente se multiplican para aumentar su número y, posteriormente, comienzan a producir neuronas especializadas. Algunas de ellas, conocidas como glía radial, cumplen una doble función: generan nuevas neuronas y sirven como una especie de "andamio" para que las neuronas recién formadas puedan desplazarse hacia el lugar donde se establecerán (Poduri & Volpe, 2018).

Si durante la neurogénesis ocurre alguna alteración genética o ambiental, el número de neuronas producidas puede ser insuficiente o excesivo, lo que puede afectar el desarrollo cerebral.

Por ejemplo:

Una producción reducida de neuronas puede dar lugar a condiciones como la crocefalia. Mientras que una proliferación excesiva puede relacionarse con algunos tipo de macrocefalia.

La mayor parte de la neurogénesis ocurre antes del nacimiento; sin embargo, algunas investigaciones de-

muestran que ciertas regiones del cerebro conservan una capacidad limitada para generar nuevas neuronas durante etapas posteriores de la vida. La etapa prenatal sigue siendo el periodo de mayor producción neuronal y de máxima sensibilidad a factores genéticos, nutricionales y ambientales (Poduri & Volpe, 2018).

El cerebro que llega al aula es el resultado de una compleja historia de desarrollo que inició desde las primeras semanas de gestación.

Migración neuronal

La migración neuronal es el proceso mediante el cual las neuronas recién formadas se desplazan desde el lugar de nacimiento hasta la región específica del cerebro donde permanecerán y trabajarán durante toda la vida. Este proceso ocurre principalmente entre el tercero y el quinto mes de gestación, aunque algunas migraciones comienzan antes y otras continúan posteriormente. En este periodo, millones de neuronas deben recorrer distancias largas dentro del cerebro en desarrollo para organizar de manera correcta la corteza cerebral, la estructura relacionada con funciones como el pensamiento, el lenguaje, la memoria y el aprendizaje.

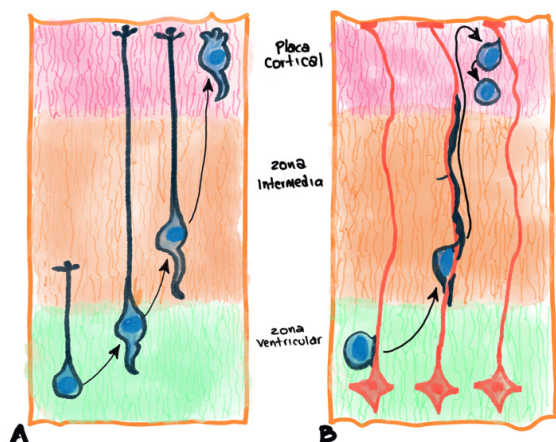
Las neuronas no se desplazan de forma desordenada por el cerebro. Para llegar a su destino utilizan una especie de guía a través de las células llamada glía radial. Estas células actúan como caminos que orientan el movimiento de las neuronas desde las zonas profundas hasta las capas externas y la corteza cerebral.

Los investigadores han identificado dos formas principales de migración:

- 1) Migración radial: las neuronas se desplazan desde el interior hasta la superficie cerebral a través de las células de la glía radial.
- 2) Migración tangencial: las neuronas se mueven de forma paralela a la superficie cerebral antes de incorporarse a su posición definitiva.

Para comprender la importancia de esta, es importante señalar, que cuando la migración neuronal se altera durante el desarrollo prenatal, pueden aparecer malformaciones cerebrales que posteriormente se asociarán con dificultades cognitivas, trastornos del desarrollo, problemas motores o epilepsia.

Imagen 3. Dos modos de migración neuronal.



Nota: A) un mecanismo temprano es la translocación somática, en la que el cuerpo celular se traslada desde el punto de origen en la zona ventricular hasta la placa cortical. B) un mecanismo posterior y predominante es la migración radial y la neurona clonalmente relacionada migra a lo largo de la fibra de glía radial parental. La migración tangencial difiere de la migración radial.

Fuente: Elaboración propia a partir de Poduri & Volpe (2018).

Diferenciación neuronal

A medida que avanza el desarrollo del sistema nervioso, las células experimentan un proceso llamado “diferenciación celular”, en el cual adquieren características

específicas que les permiten convertirse en distintos tipos de neuronas o, en su caso, células gliales. Mediante este proceso, cada una de las células desarrolla una identidad funcional propia y especializada con el fin de cumplir tareas concretas.

En las neuronas, la diferenciación se manifiesta en características como el tamaño, la forma y la extensión de las dendritas, la longitud del axón, los receptores que poseen y los neurotransmisores que producen. Estas particularidades no se determinan al azar, sino que se relacionan con las funciones que terminarán desempeñando cada una de ellas. Por ejemplo, algunas neuronas poseen axones muy largos que les permiten transmitir información a grandes distancias, otras desarrollan ramificaciones dendríticas que facilitan la recepción e integración de muchas señales que provienen de otras células nerviosas.

La adquisición de estas características especializadas va a depender de la interacción entre dos factores esenciales.

1. Programas genéticos internos: esos factores hereditarios que configuran las células precursoras, y que contienen la información necesaria para orientar su desarrollo.
2. Señales químicas presentes en el entorno: estas señales actúan durante la migración neu-

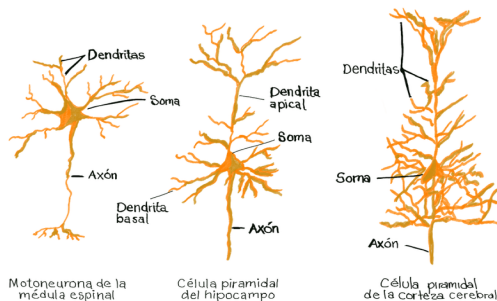
ronal y en el lugar donde finalmente se establecen. Estas señales ambientales pueden activar o modificar la expresión de determinados genes, contribuyendo a definir el tipo celular que se desarrollará.

Clasificación estructural de las neuronas

Para comprender lo anterior, es necesario conocer la estructura y clasificación de las neuronas, las cuales se presentan a continuación:

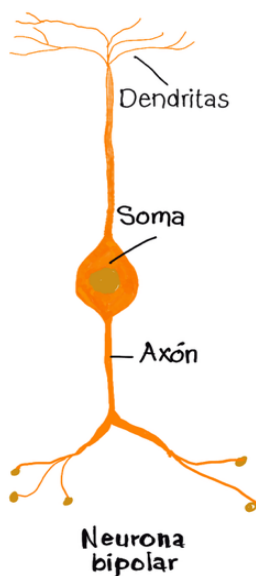
Inicialmente, nos encontramos las neuronas multipolares. Son las más comunes en el Sistema Nervioso (SN). Con ellas existe una sola prolongación del axón y contienen varias dendritas. Pueden recibir múltiples entradas sinápticas y participar en tareas complejas de integración (Sanz & Torres, 2017) (ver Imagen 4).

Imagen 4. Clasificación estructural “Neuronas multipolares”



Por su parte, las neuronas bipolares, en su estructura, tienen dos prolongaciones que están en sentidos opuestos del soma: una dendrita y un axón. Este tipo de neuronas se especializa en la transmisión sensorial directa (Sanz & Torres, 2017) (ver Imagen 5).

Imagen 5. Clasificación estructural “Neuronas bipolares”.



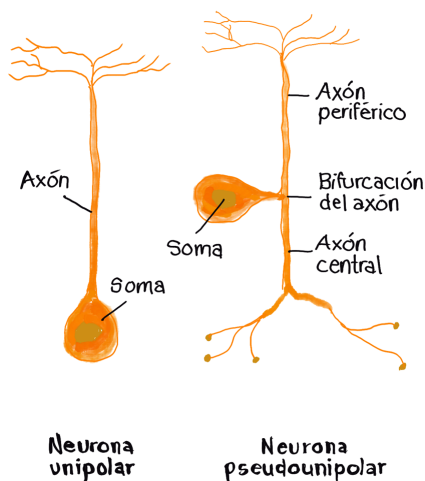
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, tenemos las neuronas unipolares o pseudounipolares. Este tipo de neuronas tienen una única prolongación y se bifurca en dos ramas:

- a) Una actúa como dendrita (recibe la información).
- b) Una actúa como axón (transmite la información).

La estructura con la que cuentan facilita una conducción rápida y eficiente de la señal sensorial (Sanz & Torres, 2017) (ver Imagen 6).

Imagen 6. Clasificación estructural “Neuronas unipolares / neuronas pseudounipolares”



Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo axonal

Posterior a la migración hacia las regiones donde desempeñarán las funciones específicas, comienza el proceso del desarrollo de los axones, prolongaciones encargadas de transmitir información a otras células. Este proceso ocurre de manera rápida durante el desarrollo cerebral, lo cual permite que las neuronas establezcan conexiones con regiones cercanas y también distantes del sistema nervioso.

Los axones pueden dirigirse hacia estructuras subcorticales, otras áreas de la corteza cerebral o incluso el hemisferio cerebral opuesto. De manera simultánea, la corteza recibe fibras nerviosas procedentes de otras regiones, como el tálamo. El desplazamiento del axón hacia su destino es posible gracias a una estructura situada en su extremo, el cono de crecimiento, el cual posee numerosas prolongaciones móviles llamadas filopodios, que son las encargadas de explorar de manera continua el entorno y detectar las señales químicas presentes en el medio extracelular.

Una vez que el axón alcanza su célula objetivo, se inicia el proceso de formación de la sinapsis. La sinapsis es el punto de comunicación entre células a través de señales que pueden ser químicas por el uso de sustancias llamadas neurotransmisores o señales eléctricas; en ambos casos se activan las señales e inician la transmisión de la información.

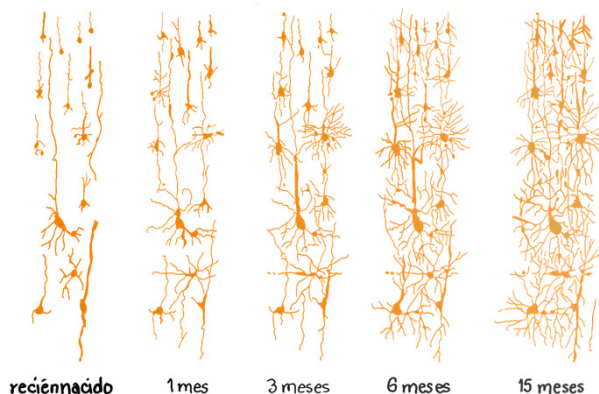
Desarrollo dendrítico

El desarrollo dendrítico comprende dos procesos:

- 1) Arborización dendrítica
- 2) Formación de espinas dendríticas

Inicialmente, las dendritas presentan una estructura simple y con pocas ramificaciones. Sin embargo, con el paso del tiempo y con el desarrollo cerebral, las prolongaciones generan bifurcaciones que se extienden hacia distintas direcciones, adquiriendo una apariencia semejante a las ramas de un árbol. Este proceso se conoce como arborización dendrítica. El desarrollo dendrítico comienza en la etapa prenatal y continúa varios meses después del nacimiento, cuando el proceso se encuentra bajo la influencia de los estímulos ambientales. La arborización y el desarrollo de las espinas dendríticas ocurren a la par (ver Imagen 7).

Imagen 7. Desarrollo dendrítico.



Nota: según Conel (1967), la arborización aumenta hasta los dos años y luego sufre modificaciones según la región cortical.

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo sináptico

La sinapsis en su constructo se acuñó por primera vez a finales del siglo XIX; es de historia reciente, todo ello en medio de mucha producción científica relacionada con la estructura de las neuronas del cerebro. Esta palabra refleja en su estructura “estrecha unión de un axón con su objetivo postsináptico”, lo cual es necesario para que la sinapsis se convierta en un portal de comunicación (Dabrowski et al. 2017).

En este sentido, la sinapsis es un mecanismo esencial en el que las neuronas intercambian información y construyen redes funcionales que sustentan el aprendizaje y el desarrollo cognitivo. Durante el desarrollo del cerebro se generan grandes cantidades de conexiones sinápticas, las cuales permiten la comunicación entre las diferentes regiones del Sistema Nervioso. Estas conexiones se modifican de manera continua y dependen de la actividad neuronal y de la experiencia (Dabrowski et al. 2017).

Fases de desarrollo de la sinapsis:

a) Guía axonal

La neurona extiende su axón hacia la célula con la que debe conectarse. Durante este proceso, el cono de crecimiento responde a señales químicas que lo atraen o repelen hasta encontrar su objetivo.

Dato clave: esta etapa establece la arquitectura básica de las redes neuronales sobre las que después se desarrollarán las funciones ejecutivas.

b) Contacto inicial y formación de la sinapsis

Cuando el axón alcanza su célula diana, se establece un contacto inicial que conlleva la organización de los componentes presinápticos y postsinápticos.

Durante esta fase:

- Se acumulan vesículas sinápticas.
- Se organizan las zonas activas de liberación de neurotransmisores.
- Se incorporan receptores postsinápticos.
- Se establecen las primeras conexiones funcionales

Dato clave: aquí se construyen las conexiones neuronales que permitirán el procesamiento de información, la generación de los procesos de cognoscitivos y el aprendizaje.

3. Refinamiento o poda sináptica

Durante el desarrollo se forman más sinapsis de las necesarias. Posteriormente ocurre un proceso selectivo en el que:

- Las conexiones más activas se fortalecen.
- Las conexiones menos utilizadas se eliminan.

Este proceso depende de la actividad neuronal y de la experiencia.

Principio fundamental: las conexiones que se utilizan se conservan; las que no se utilizan tienden a desaparecer.

Nota: constituye una de las bases neurofisiológicas del aprendizaje y explica por qué la calidad de la estimulación, la relevancia de los aprendizajes y la experiencia son importantes durante la infancia.

4. Maduración sináptica

Las sinapsis supervivientes se vuelven más efectivas, eficientes y especializadas en esta etapa:

- Cambia la composición de los receptores.
- Se fortalecen los mecanismos de transmisión.
- Maduran las espinas dendríticas.

Aparecen formas más complejas de plasticidad, como la potenciación a largo plazo, mecanismo complejo en el que se consolidan la memoria y los aprendizajes por la repetición de los estímulos y su reforzamiento durante semanas e inclusive meses.

Nota: la maduración permite que las redes neuronales procesen la información con mayor rapidez y precisión.

5. Mantenimiento y plasticidad sináptica

Una vez maduras, las sinapsis deben mantenerse activas durante toda la vida.

En esta fase:

- Se renuevan proteínas sinápticas.
- Las conexiones pueden fortalecerse o debilitarse.
- Se producen cambios estructurales relacionados con el aprendizaje y la memoria.
- Se mantiene el equilibrio entre la excitación y la inhibición neuronales.

Nota: esta etapa explica la capacidad de aprender durante toda la vida y sustenta la plasticidad cerebral.

Asimismo, se reconoce que el desarrollo y el mantenimiento adecuados de las sinapsis dependerán de la participación coordinada de neuronas y células gliales, así como de la actividad constante de los circuitos neuronales. De acuerdo a algunos autores, se menciona que las alteraciones en estos procesos pueden afectar el desarrollo cognitivo y estar asociadas con diversos trastornos del neurodesarrollo, lo que resalta la importancia de experiencias de aprendizaje enriquecidas durante las etapas críticas del desarrollo cerebral (Dabrowski et al., 2017).

Mielinización

La mielinización es un proceso del desarrollo cerebral mediante el cual los axones son recubiertos por

una capa aislante llamada mielina. Esta estructura aumenta la velocidad y la eficiencia con la que la información viaja o se desplaza entre distintas regiones del sistema nervioso. Este proceso, al igual que otros que se mencionaron anteriormente, comienza durante la vida prenatal, continúa en la infancia, adolescencia e incluso parte de la adultez temprana, siguiendo una secuencia ordenada que prioriza las funciones sensoriales y motoras básicas antes de las funciones cognitivas más complejas (Kinney et al. 1988; Kinney & Volpe, 2018).

La mielinización no se produce al mismo tiempo en todas las neuronas del SN, inicia en orden jerárquico que comienza en la médula (aproximadamente a los 4 meses de gestación) y progresa hacia el tronco encefálico, el diencefalo y el telencefalo. Las áreas sensoriales y motoras primarias comienzan la mielinización antes del nacimiento y son las primeras en completar su maduración (Ferrerres, 2022).

Asimismo, la evidencia sugiere que factores ambientales como la nutrición, lactancia materna, disponibilidad de hierro y experiencias sociales y educativas enriquecidas pueden influir positivamente en el desarrollo de la sustancia blanca cerebral (Deoni et al., 2013; Bick et al., 2015).

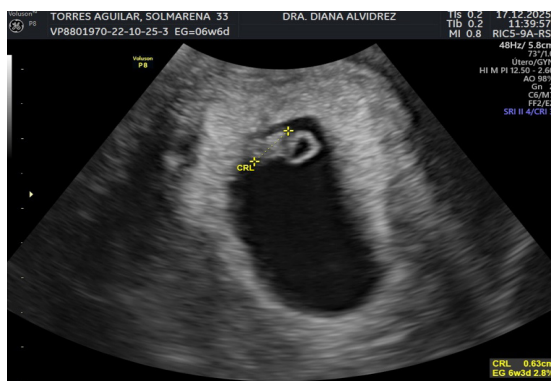
La mejora progresiva de la velocidad de transmisión neuronal favorece el desarrollo de habilidades como el lenguaje, la atención, la memoria de trabajo, la coordinación motriz y las funciones ejecutivas. En este sentido, el aprendizaje se entiende como un proceso que ocurre o deberá ocurrir en estrecha interacción con la maduración neurobiológica.

Proceso de desarrollo en imágenes

Registro ecográfico del neurodesarrollo mes a mes.
Archivo personal: Akane (2025-2026).

Nota de la autora: Akane, esta memoria en imágenes ilustra el milagro de la vida y la biología, pero, sobre todo, el inicio de tu propia historia. ¡Gracias por permitirme ilustrar la ciencia del cerebro a través de la evolución de tu existencia!

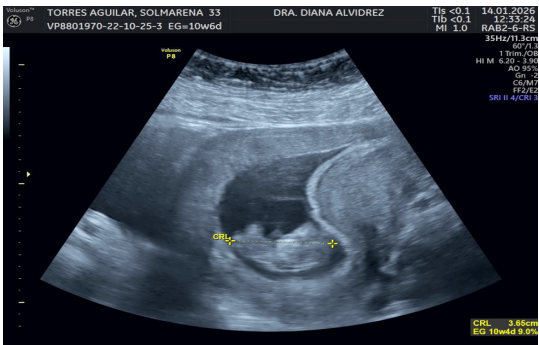
Imagen 8. Proceso de desarrollo (semana 7).



Nota: *CRL: Crown-Rump Length (Longitud Cráneo-Caudal). Medida del feto desde la coronilla hasta el cóccix.

17 de diciembre de 2025.

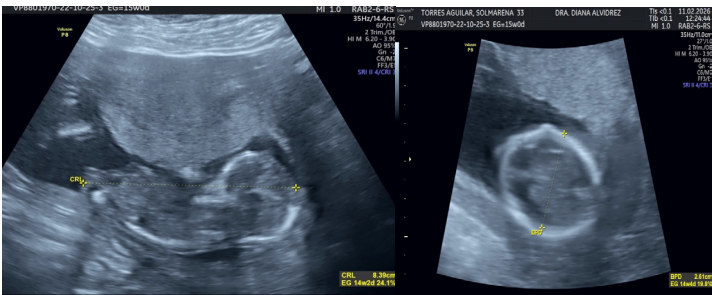
Imagen 9. Proceso de desarrollo (semana 12).



Nota: *CRL: Crown-Rump Length (Longitud Cráneo-Caudal). Medida del feto desde la coronilla hasta el cóccix.

14 de enero de 2025.

Imagen 10. Proceso de desarrollo (semana 16).



11 de febrero de 2025.

[illegible]

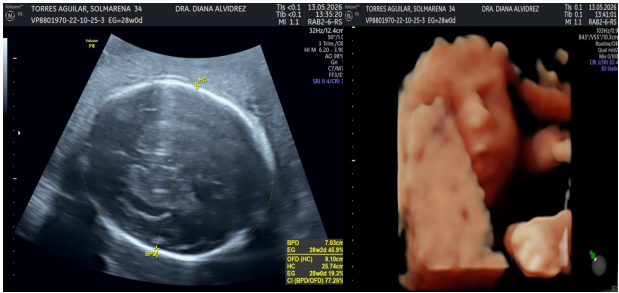
11 de marzo de 2025.

Two B-mode ultrasound images of a fetal head. The left image shows a cross-section of the fetal head with a yellow circle highlighting the skull. The right image shows a longitudinal view of the fetal head with a green box highlighting the skull. Both images include technical data on the right side.

Nota: *BPD: Biparietal Diameter (Diámetro Biparietal), distancia entre los dos huesos parietales del cráneo fetal.

08 de abril de 2025.

Imagen 13. Proceso de desarrollo (semana 28).



Nota: *BPD: Biparietal Diameter (Diámetro Biparietal), distancia entre los dos huesos parietales del cráneo fetal.

13 de mayo de 2025.

DEL REFLEJO A LA VOLUNTAD: NEURODESARROLLO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SER Y HACER

Reflejos primitivos y su integración al movimiento voluntario

Los reflejos primitivos son una parte esencial del desarrollo del ser humano. Son respuestas motoras involuntarias que se originan en el tronco encefálico y pueden comenzar a principios de la semana 25-26 de gestación y están completamente presentes al nacer en los recién nacidos a término, facilitando la supervivencia (Modrel & Tadi, 2023; Zafeiriou, 2004). Las respuestas motoras del sistema nervioso central se inhiben entre los 4 y 6 meses de edad y ocurren en relación con la maduración del cerebro, puesto que son reemplazadas por actividades voluntarias. Sin embargo, pueden reaparecer en presencia de una enfermedad neurológica (Mestre et al. 2010; Sohn & Lee et al. 2011).

Algunos autores señalan que los reflejos primitivos se encuentran entre los factores relacionados con la disminución de habilidades físicas y cognitivas. Considerando que permiten una transición gradual de

las habilidades motoras involuntarias a las voluntarias a través del sistema nervioso central (Capute et al., 1982; Illingworth, 1987). Los reflejos primitivos se establecen como:

- Reflejos orales.
 - Succión: importante para la respiración y deglución.
 - Hocico: se produce cuando los labios se fruncen tras la presión sobre el labio superior.
 - Búsqueda: girar la boca hacia el objeto, dar respuesta a estímulos suaves en la mejilla o al acercar objetos al campo visual (comienza a las 32 semanas de gestación y comienza a disminuir después del primer mes).
- Reflejo palmomentoniano. Este reflejo se asocia a una respuesta adaptativa del recién nacido a posibles lesiones; se puede identificar por el fruncimiento y una breve contracción del músculo mentoniano tras un ligero roce en la palma de la mano.
- Reflejo tónico asimétrico. Se produce al girar manualmente la cabeza del bebé hacia un lado. El bebé tiende a extender el brazo hacia el lado de la cara girada y flexiona el brazo contralateral.

- **Reflejo de Moro.** Es una respuesta protectora ante la pérdida repentina del equilibrio corporal y se desencadena al tirar de los brazos del bebé mientras está acostado boca arriba (Sohn & Lee, 2011). Al soltar los brazos, el bebé experimenta la sensación de caer, lo que ocasiona abducción del hombro y la extensión del codo. Este reflejo se desarrolla a las 28 semanas de gestación (ver Imagen 9) y desaparece a los seis meses (Damascono et al., 2005; Pattnaik & Khalili, 2025).
- **Reflejo de presión.** Este tipo de reflejo se puede provocar con la presión sostenida en la palma de la mano; este proceso se produce con la flexión de los dedos del paciente al agarrar el objeto que ejerce la presión. Este reflejo, al igual que el anterior, se desarrolla a las 28 semanas de gestación (ver Imagen 9) y desaparece a los seis meses (Schott et al. 2003; Pattnaik & Khalili, 2025).

Algunas de las funciones del reflejo primitivo se relacionan con:

- 1) **Supervivencia:** los reflejos primitivos tienen como principal función la supervivencia del neonato. Por ejemplo, el reflejo de succión está relacionado con la alimentación y permite

al bebé alimentarse al amamantar. Asimismo, el reflejo de búsqueda, se relaciona con la localización del bebé hacia la fuente de alimentación (pecho materno).

2) Exploración y adaptación: el reflejo de agarre palmar, por ejemplo, tomar un objeto, el biberón, sonajas, lo que permite su interacción con el mundo que lo rodea, es decir, su primera interacción para comprender cómo interactuar con objetos y personas.

3) Desarrollo neuromuscular: desarrollo de las conexiones neuromusculares. La experiencia y exploración hacen que sus músculos respondan a estímulos. Se comienzan a establecer las vías neuronales que serán esenciales para los movimientos voluntarios y coordinados. Estos reflejos van a contribuir al desarrollo de patrones motores básicos para consolidar la base para habilidades motoras especializadas.

4) Estimulación del sistema nervioso central: la consolidación del sistema nervioso central se relaciona con la estimulación del bebé. A medida que más se exponga a los estímulos sensoriales, se fortalecen las conexiones entre neuronas.

(Goddard, 2011).

Desarrollo de los sistemas sensoriales y la percepción del propio cuerpo (propiocepción)

La propiocepción es la capacidad de percibir la posición, el movimiento y el equilibrio del cuerpo en el espacio (Salvato et al., 2025). Esta capacidad depende de la retroalimentación de los mecanorreceptores especializados, conocidos como propioceptores, que se encuentran en músculos, tendones y articulaciones, los cuales envían señales al cerebro a través de vías nerviosas específicas, entre ellas el sistema columna dorsal-lemnisco medial (Evarts, 1981; Tuthill & Azim, 2018). Una vez procesadas en distintas regiones cerebrales, estas señales contribuyen a la elaboración de representaciones internas del cuerpo, permitiendo reconocer la ubicación de cada segmento corporal y ajustar los movimientos para precisión y eficiencia.

*Comprensión de la propiocepción durante
los años (Han et al., 2016)*

En 1826 el fisiólogo escocés Charles Bell sugiere «entre el cerebro y los músculos existe un circuito nervioso; un nervio (raíces ventrales) transmite la influencia del cerebro al músculo, y otro (raíces dorsales) le da al cerebro la información sobre el estado del músculo».

70 años después, Henry Charlton Bastian introdujo el término «cineestesia», derivado de dos palabras griegas «kinein» (movimiento) y «aisthesis» (sensación) y señaló «Conjunto de sensaciones que resultan de los movimientos o que son ocasionados directamente por ellos... cinestesia. Mediante este complejo de impresiones sensoriales nos familiarizamos con la posición y los movimientos de nuestras extremidades... mediante él, el cerebro también obtiene mucha guía inconsciente en la realización del movimiento general» (Bastian, 1887).

En 1906 el neurofisiólogo inglés Sir Charles Sherrington acuñó el término «propiocepción», a partir de la combinación del latín «proprius» (propio) y «percepción». Lo describió como «la percepción del movimiento de las articulaciones y del cuerpo, así como la posición del cuerpo, o de los segmentos corporales en el espacio» (Sherrington, 1906).

Actualmente, «propiocepción» y «cinestesia» se siguen utilizando. Sin embargo, algunos autores definen la propiocepción como la percepción de la posición articular y la cinestesia como la percepción consciente del movimiento articular (Swanik et al., 2002; Swanik et al., 2004).

¿Cómo funciona la propiocepción?

- Receptores sensoriales: los husos musculares, los órganos tendinosos de Golgi, los receptores articulares y los receptores cutáneos detectan la posición y el movimiento.

- Vías neuronales: la información viaja a través de los nervios periféricos – médula espinal – tronco encefálico – tálamo – corteza somatosensorial.
- Integración cerebral: el cerebelo coordina el movimiento, la corteza parietal crea el esquema corporal y la corteza prefrontal permite la conciencia.

(Han et al., 2015).

Las mismas redes neuronales que procesa la posición corporal también son las encargadas de sustentar el razonamiento espacial, el pensamiento matemático, la memoria de trabajo, la atención y la autorregulación. Una propiocepción deficiente genera una carga cognitiva constante, lo que reduce la capacidad de aprendizaje (Han et al., 2015).

Más allá de la función en la precisión y el control de los movimientos, la propiocepción actúa como la base en la que se construye la autoconciencia corporal. Este proceso neurobiológico no solo implica identificar el cuerpo como propio, sino percibir las sensaciones internas, comprender la ubicación corporal en el espacio y experimentar la sensación de ser autor de cada acción ejecutada. Es decir, cuando el sistema nervioso unifica el flujo de información sensorial, el cuerpo no solo se mueve; se adapta al entorno, permite al individuo desenvolverse con mayor seguridad, coordinación y capacidad de adaptación.

Función

Mecanismo de integración: el control motor y la orientación espacial no depende de señales propioceptivas aisladas, sino de la convergencia sináptica en tiempo real de un triunvirato sensorial: aferencias propioceptivas, visuales y vestibulares.

El sistema nervioso central actúa como un procesador central que unifica estas variables para corregir la trayectoria motora y mantener la homeostasis postural, demostrando que la eficiencia del movimiento es el resultado de una modulación multisensorial integrada.

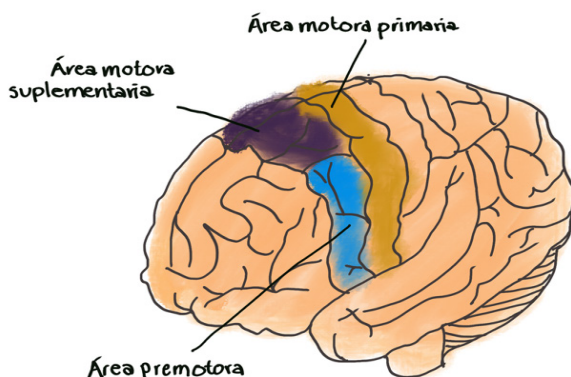
Todas las percepciones están asociadas y requieren del sistema nervioso, que, a su vez, se deriva de la estimulación física de los sentidos (Goldstein, 2009). Al igual que las ondas sonoras hacen vibrar el tímpano o la luz activa los fotorreceptores de la retina, en estos casos la propiocepción se desata cuando los movimientos y cambios de posición corporal estimulan los mecanorreceptores hasta alcanzar su umbral de activación, traduciendo esta energía física en impulsos eléctricos neuronales. Sin embargo, la percepción del cuerpo no es una acción pasiva de la realidad biológica. Lejos de ser únicamente receptor de señales sensoriales aisladas, el cerebro actúa como un intérprete: toma la información propioceptiva pura y la moldea, en tiempo real, a través del filtro de la me-

moria y el aprendizaje previo. En este proceso la red cognitiva transforma un "disparo" eléctrico en una experiencia corporal con significado (Bernstein, 2008; Han et al., 2015).

La corteza motora y la planificación del movimiento en la infancia

La corteza motora es la región del cerebro humano situada en el lóbulo frontal. La función principal de ello es planificar, controlar y ejecutar movimientos voluntarios del cuerpo, a través de enviar señales para dirigir el movimiento del cuerpo (Yip et al., 2024). La corteza motora se aloja o forma parte del lóbulo frontal y se encuentra anterior al surco central (ver Imagen 14).

Imagen 14. Anatomía de la corteza motora.



Fuente: elaboración propia.

Definición clásica y fisiológica

Es el área frontal más extensa en la que la estimulación eléctrica u optogenética provoca movimientos organizados somatotópicamente a umbrales de estímulos bajos (Ferrier, 1874; Neafsey et al., 1986; Fritsch & Hitzing, 2009).

Tiene tres áreas con tareas específicas:

1. Corteza motora primaria: ubicada en el área de Brodmann y envía la mayoría de los impulsos eléctricos de la corteza motora. Estas fibras hacen sinapsis con las motoneuronas de la médula espinal.
2. Área premotora: situada delante de la motora primaria, prepara el movimiento, particularmente el de la musculatura proximal.
3. Área motora suplementaria: se encuentra en la superficie medial de la fisura longitudinal, anterior al área representada por la pierna en la corteza motora primaria, entre sus funciones propuestas se incluyen la estabilización postural y coordinación corporal.

(Yip et al., 2024).

Corteza motora primaria

La planificación y ejecución de los movimientos voluntarios dependen de la corteza motora, la cual es una región anatómica alojada en la primera circunvolución de los lóbulos frontales, justo delante del surco central. El funcionamiento de esta área es a partir de un sistema de interconexiones bidireccionales en la estructura cerebral. A través de esta red, la corteza motora no solo emite las señales neuronales requeridas para iniciar la actividad motriz consciente, sino que también capta estímulos sensoriales procedentes de distintos centros encefálicos; este flujo de receptos proporciona una retroalimentación continua que optimiza la precisión y coordinación de las acciones motoras.

Área premotora

Esta estructura se extiende entre 1 y 3 cm. en dirección anterior a la corteza motora primaria limitando inferiormente con la cisura de Silvio y extendiéndose hacia la cisura longitudinal, punto donde se encuentra con el área motora suplementaria. El rol principal se centra específicamente en la regulación de acciones motrices guiadas por aferencias sensoriales, de modo que sus unidades neuronales se activan ante estímulos de naturaleza somatosensorial, auditiva y

visual. A su vez, aunque la estimulación eléctrica en esta región induce respuestas motoras análogas a las de la corteza motora primaria, se requiere la aplicación de una corriente de mayor intensidad para alcanzar un umbral de movimiento equivalente.

Área motora suplementaria

La corteza motora suplementaria, es una estructura que interviene en la programación, planificación e inicio de las acciones motrices, se sitúa justo por encima y en la porción anterior del área premotora, desarrollándose de forma primordial dentro de la cisura longitudinal y prolongándose cerca de un centímetro sobre el margen de la superficie cortical expuesta más elevada. Trabaja de manera coordinada con el área premotora con el fin de establecer movimientos posturales, de fijación de segmentos corporales, así como ajustes posicionales de los ojos y la cabeza; este conjunto de acciones sirve de base y soporte para que, tanto la corteza premotora, como la motora primaria, ejecuten un control motriz de mayor precisión en las extremidades distales (como manos y pies). Se ha comprobado, mediante la estimulación directa con electrodos, que esta zona induce respuestas mecánicas en las extremidades contralaterales, requiriendo para ello un umbral de excitación superior al de la corteza motora primaria.

Cabe destacar que las contracciones provocadas mediante esta estimulación suelen manifestarse de forma bilateral en lugar de unilateral, teniendo como ejemplo característico la presión palmar, ya sea ejecutada de modo simultáneo con ambas manos o con una sola, como ocurre durante la acción de trepar. Ello se explica por la comunicación de la información que permite el cuerpo calloso.

MÁS ALLÁ DE LA EJECUCIÓN: APRENDER DESDE EL MOVIMIENTO

El sistema nervioso, como se ha mencionado en apartados anteriores, no es una estructura rígida o fija, sino que es dinámico: crece, se poda y se reorganiza de manera constante. Cada vez que un estudiante aprende un patrón de movimiento nuevo o se enfrenta a un desafío motor, su cerebro experimenta una transformación. Estos cambios son la representación del neurodesarrollo, donde se interrelacionan los factores genéticos y las experiencias que vivimos. En este sentido, el movimiento corporal tiene un papel importante en esta reestructura del sistema nervioso y en esas nuevas redes neuronales; es a través del movimiento como el cerebro se adapta, evoluciona y da respuesta a las demandas de su entorno.

Cuando una persona nace, la estructura cerebral aún no está preparada y constituida en áreas relacionadas con lo motor, las cuales con el paso del tiempo y las experiencias se desarrollan y se dominan. En edades tempranas podemos observar movimientos de forma involuntaria, pero a medida que las estructuras de orden superior como el cerebelo y el neocórtex completan su maduración, se van encargando del control del mismo, hasta ejecutar las órdenes de movimiento.

En este sentido, aparecen los patrones básicos de movimiento. Los patrones básicos de movimiento son la base para que, posteriormente, se puedan ejecutar otros más complejos, lo que da paso a la maduración adecuada a cada etapa del desarrollo. El desarrollo de la motricidad es fundamental no solo para el desarrollo físico, sino también para el cognitivo, personal y socioafectivo.

Los patrones inician por movimientos simples a través de partes del cuerpo aisladas, por ejemplo, de una mano, de un pie, un brazo, una pierna, el cuello, entre otros. Conforme avanzan los años, los movimientos pasan de producirse de forma voluntaria a hacerlo con un fin y un porqué. Algunos patrones de movimiento se relacionan de forma secuencial: arrastrarse – gatear – andar. Asimismo, son necesarias otras funciones llamadas “vestibulares”, que es-

tán relacionadas con el equilibrio y las distintas posiciones del cuerpo según el eje vertical u horizontal. En este proceso se es capaz de -balancearse – rodar – (voltereta). Siguiendo este orden, se van desarrollando ejecuciones más complejas e integrando varias partes del cuerpo en su conjunto. A esto se le conoce como coordinación.

Giraldo en 2020 en su libro *“Neuroeducación: el impulso para una sociedad del aprendizaje”* señalaba que, es importante que el desarrollo se produzca de forma contralateral, es decir, que ambos lados del cuerpo tanto derecho como izquierdo estén coordinados, considerando que el procesamiento del cerebro se da de manera cruzada. Considerar el desarrollo del procesamiento contralateral, tendrá un efecto positivo en el procesamiento más rápido en el desarrollo y aprendizaje escolar. Por el contrario, realizar los movimientos sólo con una parte del cuerpo o en ausencia de coordinación, tanto en el tren superior, como en el inferior será un indicador de maduración cerebral a nivel de neurodesarrollo no consolidado (p. 206).

Además, señala que cuando un niño adquiere todos los patrones de movimiento, su cerebro está preparado para atender otras áreas. Cuando los movimientos no están automatizados, el córtex prefrontal se encar-

ga de mantener la postura, el equilibrio, la cabeza... por lo que tendrá menos recursos cognitivos para dedicarse a otra cosa. Si además no existe un control bilateral, el procesamiento será más lento (p. 162).

El profesorado de Educación Física tiene una responsabilidad pedagógica como facilitador en la construcción de la estructura cognitiva del cerebro mediante el movimiento, los retos y el disfrute. En la planificación y diseño de experiencias motrices para el alumnado, se garantiza y favorece el neurodesarrollo y la forma de relacionarnos con el mundo.

El movimiento es, el lenguaje que utiliza el cerebro para entender el mundo.

Aprendizaje motor

El aprendizaje motor puede describirse como "adquisición de nuevas habilidades mediante la práctica" (Schmidt, 1991, p. 49). En este sentido, el aprendizaje de las habilidades motoras, tales como correr, saltar, escribir, abrochar, trepar, nadar, entre otras, depende de los cambios plásticos ocurridos en los circuitos corticales y subcorticales, incluidos los ganglios basales (Roth & Ding, 2024; Dayan & Cohen, 2011). Por lo tanto, el aprendizaje motor es el proceso que me-

diante la práctica y la experiencia construye y afina la motricidad; es decir, el bagaje y la calidad de los movimientos que una persona puede realizar y controlar ante diferentes experiencias, estímulos y contextos (Malone et al., 2025; Hadders-Algra, 2018).

El aprendizaje motor no es una repetición mecánica de un gesto, sino un proceso dinámico donde el ser humano adquiere, perfecciona y automatiza movimientos a través de la práctica y la interacción constante con su entorno.

Krakauer et al. (2019) sugieren que el aprendizaje motor es mucho más que una gama de fenómenos, va desde mecanismos de nivel relativamente bajo para mantener los movimientos de forma efectiva hasta la toma de decisiones cognitivas de alto nivel sobre cómo actuar en una situación novedosa.

Desde la concepción tradicional, se ha separado lo cognitivo de lo físico, considerando que el cuerpo y la mente operaban de manera aislada. Sin embargo, con la evidencia actual, la Educación Física constituye un eje central al desarrollo integral del ser humano, considerando la relación intrínseca entre lo físico y lo cognitivo. Por ejemplo, desde el 2008 con un estudio realizado por Su y colaboradores se demostró

a partir de estudios de neuroimagen que las regiones implicadas en el control del movimiento tienen un proceso de mielinización a la par de la adquisición del lenguaje.

Dato importante:

Lenneberg en 1967 ya había señalado que existía un desarrollo en conjunto entre el lenguaje y la motricidad.

Si se busca el desarrollo cognitivo de las infancias, es esencial abordar el desarrollo motor. En primer lugar, las funciones vestibulares, parte de la evidencia científica sugiere que dentro de la primera infancia es primordial que se cumplan los hitos motores (mantener la cabeza, considerado como control cefálico, el gateo, sentarse, y el poder caminar) puesto que se consideran como un elemento formativo del desarrollo infantil (Chisari et al., 2024; Verbecquet et al., 2017) y en el caso del poder caminar erguido como único en la especie humana.

El aprendizaje motor se define como el proceso mediante el cual se adquiere o modifica un movimiento a través de la práctica y repetición, permitiendo desarrollar, afinar y adaptar habilidades motoras, desde movimientos simples como “tomar una pe-

lota" o complejas como "tocar la guitarra" o driblar en el baloncesto (Krakauer et al., 2019; Malone et al., 2025; Spampinato et al., 2020).

El aprendizaje motor describe habilidades que se aprenden a través de la práctica; es decir, no surgen debido a otros factores como la maduración neuronal, los movimientos impuestos o la integración de reflejos primitivos.

Shumway-Cook y Woollacott (1995) sugieren que cuanto más se practica una habilidad, más aprenderá. Asimismo, O'Sullivan (1994) señala que la práctica es esencial para el aprendizaje motor y el desarrollo de programas motores, considerando que, una mayor práctica conlleva mayor aprendizaje. Gentile (2000) menciona que "el aprendizaje está directamente determinado por la cantidad de práctica" (p. 173). Con la práctica y repetición, los patrones de actividad neuronal asociados se vuelven más eficientes y se relacionan mejor con movimientos específicos, por ello, conforme se realizan patrones de movimiento más complejos a través de la práctica, las acciones y/o gestos se vuelven cada vez más rápidos y precisos.

Esta reestructuración, así como los patrones de actividad neuronal, están relacionados con la plasticidad cerebral. A diferencia de lo que se creía, esta capacidad biológica no está relacionada con la edad, puesto que está pre-

sente en el aprendizaje y perfeccionamiento de los movimientos desde la infancia hasta la vejez (Cai et al., 2014; Ismail et al., 2017).

Cuando adquirimos nuevas habilidades, nuestro cerebro cambia, surgen nuevas neuronas y se establecen nuevas conexiones entre ellas. Este fenómeno se le conoce como neuroplasticidad. Significa que nuestro sistema nervioso central se modifica gracias al aprendizaje y la práctica.

Lateralización y su relevancia en el desarrollo y aprendizaje

La lateralidad no es un fenómeno aislado, es la expresión de lo que se considera como asimetrías funcionales que podemos identificar en la capacidad para procesar la información. Lo que anteriormente se consideraba como dominancia hemisférica, por ejemplo, el dominio del hemisferio izquierdo para el procesamiento del lenguaje, ahora se reconoce que el hemisferio derecho también tiene una participación en la información prosódica y en el lenguaje automático, dando información importante en la cognición humana.

Actualmente se considera que ambos hemisferios pueden trabajar de manera coordinada y complementaria. Es posible identificar, además, que el pro-

cesamiento motor, como ya se ha mencionado, es comunicado a la región contralateral, ello puede favorecer la coordinación de movimientos que se vuelven complejos y se debe estimular con ejercicios que van desde el dominio, por ejemplo, de ambas manos para el boteo del balón. Estos ejercicios podrán favorecer la motricidad fina necesaria para la construcción de la escritura.

No obstante, no en todos los niños podemos encontrar una lateralización completa, esto es, el uso de la mano, el ojo y el pie preferentes (derechos) en la mayoría de la población. Cuando hay retraso en su adquisición, se puede sospechar falta de madurez cerebral. En otros casos podemos hablar de la presencia de una lateralización cruzada.

En estos casos, se han realizado investigaciones en niños con preferencia por el lado izquierdo o lateralidad cruzada que demostraron una mayor fluidez y originalidad motora. El estudio realizado a 500 escolares destaca que la lateralidad motora en ellos puede ser relevante para la creatividad (Díaz-Pereira et al. 2024).

La presencia de lateralidad cruzada puede implicar desafíos, pero al mismo tiempo oportunidades de desarrollo de plasticidad cerebral que la clase de educación física puede potencializar, puesto que

requiere de una mayor transferencia interhemisférica a través del cuerpo calloso (Bejarano Bache & Naranjo Orellana, 2014).

El apoyo que el maestro de Educación Física puede prestar a la consolidación de la lateralidad puede tener un beneficio directo, con una contribución directa en la construcción de las conexiones sinápticas, en el trabajo de estimulación de la coordinación ojo-mano, necesario en la construcción de aprendizajes.

El juego como catalizador del aprendizaje

Como hemos mencionado previamente, el movimiento constituye más que un mecanismo de desplazamiento corporal; es una forma de interacción activa con el entorno que favorece la construcción del conocimiento y el desarrollo integral de las personas. Desde una perspectiva educativa, las experiencias motrices permiten que el individuo explore, experimente, tome decisiones, resuelva problemas y establezca relaciones con los demás, lo que se convierte en un proceso profundamente cognitivo y emocional. En este sentido, el movimiento no solo acompaña al aprendizaje, sino que actúa como un "catalizador" que incrementa la participación, la motivación y la implicación del individuo en la construcción de significados.

En esta idea, el juego, la lúdica, la competencia, el logro son activadores emocionales que están presentes en la Educación Física. Integrar el movimiento, más emoción, más desafío social, activamos áreas del cerebro como el hipocampo y la corteza prefrontal, mismas que son responsables de la memoria y las funciones ejecutivas.

Cuando un estudiante participa en un juego con reglas, no solo corre, práctica la inhibición de impulsos, la toma de decisiones y la empatía. Por ejemplo, quemados, debe permanecer quieto cuando lo han "quemado", aunque el niño quisiera seguir corriendo como un impulso nato, práctica la inhibición de impulsos. Cuando otra compañera corre para poder "quemar" a una persona del equipo contrario, debe elegir qué estrategia seguir para obtener buen resultado (toma de decisiones); finalmente, el trabajo en equipo genera comunidad y empatía hacia sus compañeros, a su equipo o equipo contrario.

De acuerdo con Ismoyo et al. (2024) y Agudelo & Guapacha (2023), el juego tiene por característica principal ser activo y, con ello, se convierte en una estrategia necesaria para el desarrollo motor y, a su vez, promotor de hábitos saludables a lo largo de la vida. En relación con lo anterior, el juego también re-

presenta un espacio lúdico que permite adquirir habilidades tanto corporales y sensoriales, pero que se relacionan con las interacciones sociales en un espacio físico, mismo que responde y estimula los sentidos como la motricidad, a la par que se estimula el trabajo colaborativo y promueve la interacción entre pares a través de la comunicación, cooperación y trabajo en equipo (Atipe et al., 2025; León et al., 2024; Uribe, 2023).

Antes de pasar al siguiente segmento, es importante reflexionar y tomar nota de esta frase:

“We spend the first year of a child’s life teaching it to walk and talk and the rest of its life to shut up and sit down. There’s something wrong there”

[Pasamos el primer año de la vida de un niño/a enseñándole a caminar y hablar y el resto de su vida a callarse y sentarse. Algo falla allí].

Neil deGrasse Tyson

IMPLICACIONES PRÁCTICAS

El papel del profesor/a

La persona docente requiere de confianza en el proceso de aprendizaje, asimismo, en las capacidades

de cada una de las niñas y niños que pasan por el patio escolar, dar un paso atrás y evitar intervenir desde la inmediatez ante cada dificultad presentada en la ejecución de algún gesto motor. Permitir la experiencia, la equivocación y la búsqueda de distintas soluciones favorece al desarrollo de la autonomía, la perseverancia y la capacidad de resolución de problemas en el alumnado.

Del mismo modo, las experiencias lúdicas dentro de la educación física generan un contexto privilegiado para el aprendizaje de habilidades socioemocionales, ya que, a través de la interacción con sus pares, el estudiantado descubre que la comunicación efectiva, la cooperación y la toma de decisiones compartida son elementos necesarios para alcanzar objetivos comunes. En este sentido, el juego trasciende su función recreativa y se convierte en una experiencia formativa que fortalece competencias personales y sociales indispensables para el aprendizaje y la vida cotidiana.

Algunos recursos para la organización del juego. Grupos reducidos

La organización de actividades en grupos reducidos constituye una estrategia pedagógica que incrementa de manera significativa la oportunidad de apren-

dizaje. Al disminuir el número de participantes por equipo, cada niño/a interviene con mayor frecuencia en el juego, toma más decisiones y participa de manera activa durante toda la actividad, favoreciendo así el desarrollo de la autonomía motriz y resolución de problemas. Asimismo, este formato permite al docente adaptar el nivel de dificultad mediante la conformación de grupos con diferentes grados de complejidad, garantizando que todas las niñas y niños enfrenten retos acordes con sus capacidades y experimenten logros progresivos.

Para recordar:

- Participación maximizada a través de grupos pequeños.
- Oportunidad de desafíos adaptada al nivel de dificultad requerido.

Ejemplo 1. Baloncesto

En una unidad didáctica de baloncesto, en lugar de una organización tradicional de 5 vs 5, la persona docente divide el grupo en varias canchas pequeñas donde se desarrollan encuentros de 3 vs 3. Esta modificación incrementa el número de contactos con el balón, obliga a los estudiantes a tomar decisiones de manera continua sobre el pase, desplazamiento y la ocupación de espacio, a su vez, favorece una mayor implicación motriz de quienes participan. Adicionalmente, la persona docente puede ajustar:

- Nivel de complejidad con reglas específicas por grupo, como limitar el número de botes para quienes tengan mayor dominio técnico o permitir más tiempo de posesión para quienes se encuentran en etapas iniciales.
-

Gestión del tiempo para una cultura de participación.

La gestión de la clase implica un cambio de paradigma respecto a modelos tradicionales centrados en el control. Desde esta mirada, el propósito no es eliminar el sentido espontáneo del juego, sino estructurar un entorno que favorezca la participación activa, la autorregulación y la motivación intrínseca de niñas y niños.

- Iniciar la sesión con una actividad motriz inmediata: evitar dedicar los primeros minutos a explicaciones extensas, comenzar con desafíos breves o incluso exploración del material de trabajo, esto favorece la activación física, capta la atención y aumenta la disposición a recibir indicaciones de manera posterior.
- Comunicación: utilizar la comunicación verbal y no verbal para indicar cuándo detener la actividad y prestar atención. Esta forma de comunicación puede ser parte de la rutina de

cada sesión; utilizarla desde el inicio del curso facilita la organización de la clase y reduce el tiempo de organización de la misma.

- Resolución de conflictos: ante situaciones de conflictos y desacuerdos dentro de la clase, involucre a niñas y niños en la identificación de la problemática y en conjunto buscar alternativas de solución. Esta práctica favorece la autorregulación, pensamiento crítico y sentido de corresponsabilidad.
- Evita colocar la AF o alguna actividad física como castigo: el ejercicio debe estar asociado con bienestar y disfrute, verse como una actividad de aprendizaje, no como una forma de sanción. alguna alternativa puede ser, modificación del rol o reflexión guiada.
- Retroalimentación: es importante reconocer de manera inmediata conductas o decisiones y actitudes que contribuyen al aprendizaje y a la convivencia. La retroalimentación es un espacio que concreta y fortalece el estado de motivación, confianza y repetición de comportamientos deseables.
- Autonomía: permitir a los estudiantes tomar decisiones sobre la organización de juego, selección de estrategias o resolución de desafíos, así como el incremento progresivo de la responsabilidad durante la sesión.

- Clima de trabajo: promover una cultura desde la participación y el respeto, donde el error sea entendido como una oportunidad de aprendizaje y donde la cooperación, la comunicación y el apoyo entre compañeros sean parte esencial de la experiencia lúdica.

Algunos ejemplos prácticos

Es importante destacar: ¿qué podemos hacer desde la Educación Física para procesar los estímulos del entorno (táctiles, vestibulares, propioceptivos) mientras se ejecuta un movimiento coordinado en preescolar?

Actividad 1. Integración sensorial y motora.

Camino de las huellas sorpresa

¿Cómo se juega?

Se diseña un circuito de equilibrio en el suelo utilizando "huellas" hechas de distintos materiales (fieltro, lija suave, plástico con burbujas, cartón corrugado, césped, algodón). El niño debe caminar descalzo sobre ellas siguiendo la trayectoria.

Para el elemento de integración motora, durante la trayectoria se puede colocar algunos indicativos para agacharse y recoger un objeto, pasar por debajo de un elemento, pasar por encima de una cuerda sin tocarla.

Principio clave: Estimulación de receptores táctiles de los pies (con las huellas) y el sistema vestibular a través del equilibrio.

La función ejecutiva se entiende como una serie de habilidades cognitivas que permiten la realización de acciones voluntarias y autoorganizadas dirigidas a la interacción conductual (Mazzocante et al., 2022). El trabajo y desarrollo de estas son factores cruciales en varias habilidades para la vida, incluyendo el desempeño académico, social, afectivo y motor (Mazzocante et al., 2022; Santana et al., 2017; Rosenberg, 2015).

Ejemplo 1. Persecución y semáforo

El juego de persecución con colores

Toma de decisiones y funciones

Material: tarjetas de colores.

Reglas: cada color cambia las reglas de interacción de forma inmediata. La tarjeta roja significa que todos deben desplazarse saltando con los pies juntos, el azul permite correr normalmente y el verde desplazarse de espaldas.

A nivel neurofisiológico: el cerebro debe recurrir a la inhibición/control inhibitorio (frenar el impulso de correr normal cuando ve el rojo) y flexibilidad cognitiva (cambiar de estrategia motriz rápidamente).

Lo que observamos: al inicio de la actividad, se presentan errores y la actividad se desarrolla con cierta torpeza. Sin embargo, mientras la actividad avanza y tras varias repeticiones, el movimiento se vuelve más fluido. Esa fluidez es la neuroplasticidad que permite la adquisición del aprendizaje motor. El cerebro a fin de optimizarse crea rutas más rápidas entre la percepción visual del color y la respuesta motora.

Ejemplo 2. Circuito motor

Circuito de Equilibrio dinámico y lanzamiento

Integración sensorial

Material: ruta de madera (tablas para realizar viga) y pelotas.

Reglas: trabajo en parejas, mientras un compañero se traslada de un punto a otro a través de la viga, el otro lanza la pelota para que quien está sobre la viga la reciba mientras avanzan, lanzar y cazar de forma simultánea durante el traslado de un punto a otro.

A nivel neurofisiológico: el sistema nervioso está recibiendo una carga alta de información. El sistema vestibular (equilibrio) y la propiocepción (sentir como avanzan y a donde avanzan los pies sin mirarlos) trabajan para mantener la postura, mientras que el sistema visual y la coordinación óculo-manual se enfoca en la pelota.

Lo que observamos: esta actividad multitareas obliga al cerebelo y a la corteza motora a refinar el esquema corporal. Al principio el niño se tambalea porque trabaja bajo atención dividida; con la práctica y la repetición, el equilibrio se automatiza, liberando recursos cognitivos para un lanzamiento más preciso.

ALGUNAS ESTRATEGIAS PEDAGÓGICAS BASADAS EN LA EVIDENCIA NEUROCIÉNTÍFICA

1. ACTIVACIÓN DE CONOCIMIENTOS PREVIOS

El aprendizaje significativo ocurre y se propicia cuando la nueva información se integra con estructuras existentes, lo que lleva a fortalecer las conexiones neuronales que se están formando de manera previa.

2. APRENDIZAJE ACTIVO Y EXPERIENCIAL

Las actividades que se experimentan o actividades prácticas que conllevan la participación activa del estudiantado, estimulan múltiples circuitos neuronales, generando representaciones mentales consistentes del conocimiento. (Amaral & Guerra, 2022)

3. APRENDIZAJE COLABORATIVO

La interacción social favorece el desarrollo de las funciones mentales más complejas a través de la activación de redes neuronales asociadas con la resolución de problemas y con el pensamiento crítico.

4. APRENDIZAJE ESPACIADO

La consolidación de la memoria requiere de tiempo de asimilación para que se establezca en redes neuronales a largo plazo.

5. METACOGNICIÓN Y AUTORREGULACIÓN

El proceso de reflexión sobre el aprendizaje lleva a potenciar el rendimiento académico y permite la planificación, supervisión y evaluación de estrategias cognitivas utilizadas.(Amaral & Guerra, 2022)

REFERENCIAS

- Amaral, A. L. N., & Guerra, L. B. (2022). *Neuroscience and education: Looking out for the future of learning*. Brazilian Social Service for Industry (SESI). <https://www.portaldaindustria.com.br/sesi>
- Agudelo, F., y Guapacha, M. (2023). Juego activo y síntomas afectivos y comportamentales en niños, niñas y adolescentes [Juego y Salud Mental]. *Revista Colombiana de Psiquiatría*. <https://doi.org/10.1016/j.rcp.2023.04.004>
- Antipe Vásquez, S., Saravia Valenzuela, R., Silva Soto, C., Gutiérrez Saldivia, X., y Fuentes-Vilagrón, G. (2025). El juego como motor del desarrollo social y cognitivo en niños y niñas en la primera infancia. *Retos*, 72, 359-374. <https://doi.org/10.47197/retos.v72.115009>
- Bastian, H.C. (1887). The “muscular sense”: its nature and cortical localisation. *Brain*. 1887;10:1–88.
- Bell, C. (1826). On the Nervous Circle Which Connects the Voluntary Muscles with the Brain. *The London medical and physical journal*, 1(1), 44–50.

- Bejarano Bache, M.A. y Naranjo Orellana, J. (2014). Lateralidad y rendimiento deportivo. *Archivos de Medicina del Deporte*, 31(3), 200-204. [rev01.indd](#)
- Bick, J., Zhu, T., Stamoulis, C., Fox, N. A., Zeanah, C., & Nelson, C. A. (2015). Effect of early institutionalization and foster care on long-term white matter development: a randomized clinical trial. *JAMA pediatrics*, 169(3), 211-219. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2014.3212>
- Cai L, Chan JSY, Yan JH and Peng K (2014) Brain plasticity and motor practice in cognitive aging. *Front. Aging Neurosci.* 6:31. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00031>
- Capute, A. J., Shapiro, B. K., Accardo, P. J., Wachtel, R. C., Ross, A., & Palmer, F. B. (1982). Motor functions: Associated primitive reflex profiles. *Develop Med Child Neurol*, 24(6), 662-669. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1982.tb13677.x>
- Chisari, D., Vitkovic, J., Clark, R., & Rance, G. (2024). Vestibular function and balance performance in children with sensorineural hearing loss. *International Journal of Audiology*, 63(11), 875-883. <https://doi.org/10.1080/14992027.2023.2281878>

- Cushing, S. L. & Papsin. B. C. (2018). Cochlear Implants and Children with Vestibular Impairments. *Seminars in Hearing* 39 (3):305-320. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666820>
- Dabrowski, A., Johnson-Venkatesh, E. & Umemori, H. (2017). Synaptic Development. En P. Michael Coon (Ed.). *Conn's Translational Neuroscience* (89-11). Academic Press
- Damasceno, A., Delicio, A. M., Mazo, D. F., Zullo, J. F., Scherer, P., Ng, R. T., & Damasceno, B. P. (2005). Primitive reflexes and cognitive function. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 63(3A), 577-582. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x2005000400004>
- Dayan, E. & Cohen, L. (2011). Neuroplasticity Sub-serving Motor Skill Learning. *Neuron*, 72, (3) 443-454. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.10.008>
- Deoni, S. C., Dean, D. C., Piryatinsky, I., O'Muir-cheartaigh, J., Waskiewicz, N., Lehman, K., Han, M., & Dirks, H. (2013). Breastfeeding and early white matter development: A cross-sectional study. *NeuroImage*, 82, 77-86. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.090>
- Díaz-Pereira, M. P., González-Fernández, A., Fernández-Villarino, M. A., Delgado-Parada, J., y López-Araujo, Y. (2024). Exploración de la re-

lación entre creatividad motora, la preferencia lateral y el deporte en los escolares. *Apunts Educación Física y Deportes*, 155, 19-28. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2024/1\).155.03](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2024/1).155.03)

Evarts, E. (1981). Sherrington's concept of proprioception. *Trends in Neurosciences*, 4, 44-46.

Ferrier, D. (1874). Experiments on the Brain of Monkeys.--No. I. *Proceedings of the Royal Society of London*, 23, 409-430. <http://www.jstor.org/stable/113319>

Föster, J. y López, I. (2022). Neurodesarrollo humano: un proceso de cambio continuo de un sistema abierto y sensible al contexto. *Revista médica clínica Los Condes*, 33 (4), 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2022.06.001>

Fritsch, G., & Hitzig, E. (2009). Electric excitability of the cerebrum (Über die elektrische Erregbarkeit des Grosshirns). *Epilepsy & behavior : E&B*, 15(2), 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2009.03.001>

Giraldo, E. (2020). *Neuroeducación: el impulso para una sociedad de aprendizaje*. Junta de Extremadura.

- Goddard, S. (2011). *Attention, Balance and Coordination. The A.B.C. of Learning Success*. Wiley-Blackweel
- Goldstein, E.B. (2009). *Sensation and perception*. (8th ed.). Wadsworth Pacific Grove
- Hadders-Algra, M. (2018). Early human motor development: From variation to the ability to vary and adapt. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol. 90, 411-427. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.05.009>
- Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., & Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: A critical review of methods. *Journal of sport and health science*, 5(1), 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.10.004>
- Hortobágyi, T., Granacher, U., Fernández-del Olmo, M., Howatson, G., Manca, A., Deriu, F., Taube, W., Gruber, M., Márquez, G., Lundbye-Jensen, J & Colomer-Poveda, D. (2021). Functional relevance of resistance training-induced neuroplasticity in health and disease. *Neuroscience and biobehavioral reviews*. 122 (2021), 79-91. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.12.019>
- Kinney, H. C., Brody, B. A., Kloban, A. S., & Gilles, F. H. (1988). Sequence of central nervous system myelination in human infancy. II. Pat-

terns of myelination in autopsied infants. *Journal of neuropathology and experimental neurology*, 47(3), 217-234. <https://doi.org/10.1097/00005072-198805000-00003>

Kinney, H. C. & Volpe, J. (2018). Myelination Events. In J. Volpe. (Ed.). *Volpe's Neurology of the Newborn*, (6ed.). 176-188. Elsevier.

Krakauer, J.W., Hadjiosif, A.M., Xu, J., Wong, A.L. & Haith, A.M. (2019), Motor Learning. *Comprehensive Physiology*, 9: 613-663. <https://doi.org/10.1002/j.2040-4603.2019.tb00069.x>

Ismail, F., Fatemi, A. & Johnston, M. (2017). Cerebral plasticity: Windows of opportunity in the developing brain. *European Journal of Paediatric Neurology*, 21, 23-48. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.07.007>

Illingworth, R. S. (1987). *The development of the infant and young child: Normal and abnormal* (9th ed.). Churchill Livingstone.

Li, S. (2017) Spasticity, Motor Recovery, and Neural Plasticity after Stroke. *Front. Neurol.* 8:120. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00120>

León Medrano, D. I., Rosales Ramos, J. A., Pacheco García, J. E., y Rodríguez Avelino, G. P. (2024). Efectos del juego y el movimiento libre en el

desarrollo de habilidades motoras en niños preescolares. *Ciencia Y Educación*, 5(7), 86 - 105. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12721410>

Loi, E., Micheletti, S., Galli, J. & Fazzi, E. (2022). Shaping minds: Family environmental influences on early neurodevelopment. *Global pediatrics*, 17, 100349. <https://doi.org/10.1016/j.gped.2026.100349>

Malone, L.A., Hill, N.M., Tripp, H., Zipunnikov, V. Wolpert, D. & Bastian A. (2025). The control of movement gradually transitions from feedback control to feedforward adaptation throughout childhood. *npj Sci. Learn.* 10, 13. <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00304-7>

Mestre, T., & Lang, A. E. (2010). The grasp reflex: a symptom in need of treatment. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 25(15), 2479–2485. <https://doi.org/10.1002/mds.23059>

Modrell, A. K. & Tadi, P. (2023). Primitive reflexes. In StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554606/>

Mozzocante, R., Corrêa, H., Sousa, I., Ramos, I. & Melo, G. (2022). The relationship between the number of weekly physical education class-

es with morphological, physical, motor and executive functions profiles: a cross-sectional study. Physical Education class morphological, physical, motor and executive functions. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 22(2), 171-185. <https://www.redalyc.org/journal/2270/227074833011/html/>

Neafsey, E. J., Bold, E. L., Haas, G., Hurley-Gius, K. M., Quirk, G., Sievert, C. F., & Terreberry, R. R. (1986). The organization of the rat motor cortex: a microstimulation mapping study. *Brain research*, 396(1), 77-96. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(86\)80191-3](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(86)80191-3)

Roth, R.H. & Ding, J.B. (2024). Cortico-basal ganglia plasticity in motor learning. *Neuron*, 112 (15), 2486-2502. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2024.06.014>

Rosenberg, L. (2015). The Associations Between Executive Functions' Capacities, Performance Process Skills, and Dimensions of Participation in Activities of Daily Life Among Children of Elementary School Age. *Applied Neuropsychology: Child*, 4(3),148-156. <https://doi.org/10.1080/21622965.2013.821652>.

Santana, C. C. A., Azevedo, L. B., Cattuzzo, M. T., Hill, J. O., Andrade, L. P. & Prado, W. L. (2017). Physical fitness and academic performance in youth: A

systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(6),579-603.<https://doi.org/10.1111/sms.12773>.

Sanz y Torres (2017). Organización general del sistema nervioso. En A. del Abril Alonso, E. Embrosio Flores, M. R. de Blas Calleja, A. Camerino Gómez, C. García Lecumberri, A. Higuera Matas y J. M. de Pablo González. *Fundamentos de Psicología* (pp. 154-165). UNED

Salvato, G., Casile, G., Squarza, S.A.C., Piano, M., Sessa, M. & Bottini, G. (2025). Proprioception as a sensory root for body and motor awareness. *Brain Commun.* 1;7(5):fcf379. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcaf379>

Schott, J.M. & Rossor, M.N. (2003). The grasp and other primitive reflexes. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. May;74(5):558-60. <https://doi.org/10.1136/jnnp.74.5.558>.

Ismoyo, I, Nasrulloh, A., Ardiyanto Hermawan, H., & Ihsan, F. (2024). Beneficios para la salud de los juegos tradicionales: una revisión sistemática. *Retos*, 59, 843–856. <https://doi.org/10.47197/retos.v59.107467>

Sherrington, C.S. (1906). *The integrative action of the nervous system*. Cambridge University Press.

- Schmidt, R.A (1991). Motor learning principles for physical therapy. In: Foundations for Physical Therapy. *Contemporary Management of Motor Control Problems, Proceedings of the II STEP Conference. Alexandria; VA: Foundations for Physical Therapy.*
- Sleiman, S. F., Henry, J., Al-Haddad, R., El Hayek, L., Abou Haidar, E., Stringer, T., Ulja, D., Karuppagounder, S. S., Holson, E. B., Ratan, R. R., Ninan, I., & Chao, M. V. (2016). Exercise promotes the expression of brain derived neurotrophic factor (BDNF) through the action of the ketone body β -hydroxybutyrate. *eLife*, 5, e15092. <https://doi.org/10.7554/eLife.15092>
- Sohn, M., Ahn, Y., & Lee, S. (2011). Assessment of Primitive Reflexes in High-risk Newborns. *Journal of clinical medicine research*, 3(6), 285–290. <https://doi.org/10.4021/jocmr706w>
- Swanik, C. B., Lephart, S. M., & Rubash, H. E. (2004). Proprioception, kinesthesia, and balance after total knee arthroplasty with cruciate-retaining and posterior stabilized prostheses. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 86(2), 328–334. <https://doi.org/10.2106/00004623-200402000-00016>

- Swanik, K. A., Lephart, S. M., Swanik, C. B., Lephart, S. P., Stone, D. A., & Fu, F. H. (2002). The effects of shoulder plyometric training on proprioception and selected muscle performance characteristics. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 11(6), 579–586. <https://doi.org/10.1067/mse.2002.127303>
- Pattnaik, P. & Al Khalili Y. (2025). *Moro Reflex*. Treasure Island.
- Poduri, A. & Volpe, J.J. (2018). Neuronal Proliferation. En J.J. Volpe, T. Inder, B.T. Darras, L.S. de Vries, A.J. du Plessis, J.J. Neil & J.M. Perlman. *Volpe's Neurology of the Newborn* (6ª. Ed). Elviesier
- Tuthill, J. C., & Azim, E. (2018). Proprioception. *Current biology: CB*, 28(5), R194–R203. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.01.064>
- Yip, D. W., Awosika, A. O., & Lui, F. (2024). Physiology, Motor Cortical. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Uribe, A. (2023). El juego como una herramienta pedagógica para el aprendizaje en la escuela. *Revista de Inclusión Educativa y Diversidad*, 1(1), 32-44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10680016>

Verbecque, E., Marijnissen, T., De Belder, N., Van Rompaey, V., Boudewyns, A., Van de Heyning, P., Vereeck, L. & Hallemans, A. (2017). "Vestibular (dys) Function in Children with Sensorineural Hearing Loss: A Systematic Review." *International Journal of Audiology* 56 (6):361–381. <https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1281444>

Zarza-Rebollo JA, López-Isac E, Rivera M, Gómez-Hernández L, Pérez-Gutiérrez AM, Molina E. The relationship between BDNF and physical activity on depression. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2024 Aug 30;134:111033. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2024.111033>