



Universidad de Valparaíso  
Facultad de Medicina  
Escuela de Kinesiología

# **SEGUNDO PERIODO CRÍTICO PARA EL APRENDIZAJE MOTOR EN NIÑOS SANOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

**SEMINARIO DE TÍTULO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN  
KINESIOLOGÍA**

**Autores: Diana Gutiérrez Gutiérrez  
Lila Gutiérrez Pérez**

**Tutor: Klgo. Juan C. Rojas Montero, MSC, MDU**

Viña del Mar – Chile

2016





Universidad de Valparaíso  
Facultad de Medicina  
Escuela de Kinesiología

# **SEGUNDO PERÍODO CRÍTICO PARA EL APRENDIZAJE MOTOR EN NIÑOS SANOS: UNA REVISION SISTEMÁTICA**

**SEMINARIO DE TÍTULO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN  
KINESIOLOGÍA**

**Autores: Diana Gutiérrez Gutiérrez  
Lila Gutiérrez Pérez**

**Tutor: Klgo. Juan C. Rojas Montero, MSC, MDU**

Viña del Mar – Chile

2016

*Le agradezco infinitamente a mi madre por su apoyo incondicional, a mis abuelos, en especial a mi abuelo que desde el cielo fue quien me alentó a seguir, fue el causante de esto y quien guió el camino para llegar al final. A mis amigos, en especial a Cony por su apoyo en todo momento, a mi amigo Alejandro y Moisés, por ser un apoyo fundamental en tiempos de crisis. A la vida, por permitirme seguir mis sueños...*

*Diana*

*Dedicado de manera especial a mi madre Verónica que con su ayuda y amor he logrado terminar este proceso, que algún momento se hizo difícil. Por su apoyo incondicional día a día en el transcurso de esta carrera, en especial a mi lelita que desde el cielo me acompaña en cada momento.*

*A mis hermanos, amigos y familia por brindarme la motivación necesaria y ayudarme a finalizar mi tesis de la mejor manera.*

*Lila*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro profesor guía Klgo. Juan Cristián Rojas Montero por ser no solo un guía en el proceso de enseñanza, sino también por el apoyo que nos brindó en todo este largo y difícil camino, por toda su motivación, consejos y dedicación que nos brindó durante el corto tiempo que trabajamos con él.

A nuestros profesores Pamela Soto, Cynthia Castro por el apoyo en el proyecto primario y la ayuda constante en el proceso.

Y a nuestros profesores, familias y amigos por el constante apoyo en todos estos años de estudio.

## ÍNDICE

1. ABREVIATURAS.....	1
2. ABSTRACT.....	4
3. RESUMEN.....	5
4. INTRODUCCIÓN.....	6
5. MARCO TEÓRICO	
5.1. Neuroplasticidad.....	9
5.1.1 Aspectos históricos.....	9
5.1.2 Conceptos Generales.....	12
5.2 Creciente desarrollo dendrítico.....	14
5.2.1 Periodo crítico-ventana plástica.....	15
5.3 Periodos críticos y Neuroplasticidad.....	19
5.3.1 Formas de medición de los cambios neuroplásticos.....	19
5.4 Tipos de neuroplasticidad.....	21

5.5 Patrones motores primarios y secundarios.....	24
5.6 Aprendizaje motor.....	33
5.6.1 Teorías del aprendizaje motor.....	34
5.6.2 Fases del aprendizaje motor.....	36
5.7 Edades significativas en el aprendizaje motor.....	38
5.8 Neurofisiología del aprendizaje motor.....	44
5.8.1 Rol del cerebelo en el aprendizaje motor.....	47
5.8.2 Rol de los núcleos de la base en el aprendizaje.....	49
6. OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	50
6.1 Objetivo general.....	50
6.2 Objetivos específicos.....	50
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
7.1 Estrategias de Búsqueda.....	51
7.2 Criterios de aceptación de los artículos científicos.....	52
7.3 Recopilación de datos de los artículos.....	54
7.4 Criterio metodológico.....	55
8. REVISIÓN SISTEMÁTICA BIBLIOGRÁFICA.....	56
8.1 Resultados.....	56

9. DISCUSION Y CONCLUSION.....	74
9.1 Discusión.....	74
9.2 Conclusión.....	90
10. REFERENCIAS.....	92
11. ANEXOS.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ventana de neuroplasticidad en el desarrollo cerebral.....	13
<b>Figura 2:</b> Factores que afectan el periodo crítico.....	18
<b>Figura 3:</b> Esquema de aprendizaje operante de Skinner.....	36
<b>Figura 4:</b> Fases del desarrollo motor por edad.....	43
<b>Figura 5:</b> Modelo de los actos motores.....	45
<b>Figura 6:</b> Estrategias de búsqueda y sus resultados.....	53

## 1. ABREVIATURAS

**RS:** Revisión Sistemática.

**SNC:** Sistema nervioso central.

**NGF:** Factor de crecimiento nervioso.

**NT3:** Neurotrofina 3.

**BDNF:** Factor neurotrófico derivado del cerebro.

**NMDA:** Receptor N-metil-D-aspartato.

**PLP:** Potenciación a largo plazo.

**DLP:** Depresión a largo plazo.

**CPG 15:** Gen candidato a la plasticidad 15.

**MEC:** Matriz extracelular.

**MEG:** Magneto encefalografía.

**RMf:** Resonancia magnética funcional.

**PET:** Tomografía por emisión de positrones.

**SPECT:** Tomografía por fotón único.

**TMS:** Estimulación magnética transcraneal.

**PPF:** Facilitación por pulsos pareados.

**PPD:** Depresión por pulsos pareados.

**SNP:** Sistema Nervioso periférico.

**PPSE:** Potencial postsináptico excitatorio

**AMPA:** Receptores de alfa-amino-3-hidroxi-5-metilisoazol-4-propiónico.

**AMP:** Ácido adenosina monofosfórico.

**PKA:** Proteína cinasa A.

**MAPK:** Proteína cinasa activada por mitógenos.

**CREB:** Proteínas transportadoras del elemento de respuesta del AMPc.

**EMG:** Electromiografía bipolar.

**FDI:** Primer músculo interóseo dorsal.

**MUGI:** Desarrollo motor del sonido para el aprendizaje básico.

**FOS:** Secuencia de oposición del dedo pulgar.

**FITTS:** Análisis de velocidad y patrón al apuntar.

**FMS:** Movimiento fundamentalmente dominante.

**EEG:** Electroencefalograma.

**EOG:** Electrooculograma.

**MRI:** Resonancia magnética estructural.

**PEH:** Educación física y salud.

**MMN:** Negatividad de desajuste.

**VOT:** Tiempo de inicio de la voz.

**PMBR:** Sincronización gamma relacionada con el movimiento.

**DO:** Pacientes disléxicos.

**CO:** Pacientes controles.

**RMSE:** Rendimiento, medido por la media cuadrática.

**ERPs:** Potenciales cerebrales relacionados con eventos registrados.

**PE:** Educación física.

**ES:** Sembrado de errores.

**ER:** Reducción de errores.

## 2. ABSTRACT

Objective: The objective of this systematic review is to determine what is the second what the post-critical period known in healthy children associated to neuroplastic changes, posterior to the know one in healthy children, ranging from birth to 3 years. Significant age periods are in terms of Neuroplastic changes, which produce a higher peack of improved motor performance.

Methodology: A bibliographic search was made in the following search engines: Scielo, Pubmed, and Oxford. The words used were: "motor learning", "neuroplasticity", "healthy child", "critical periods" and "re opening windows". The articles that met the inclusion criteria were selected, and then registered in bibliographic records. An evaluation of the quality of each of the articles chosen was carried out using the Pedro scale.

Results: A total of 18 articles met the inclusion criteria. All of them 16 experimental, 1 observational and 1 quasi experimental. All selected articles related their results to neuroplasticity in children.

Conclusions: It is concluded that there is a critical period of motor learning that follows the one occurring during the first years of life. In addition, we conclude that there is a neuroplastic window of opportunity around 9 years of age.

**Keywords:** motor learning, critical periods, neuroplasticity, healthy child, reopening window.

### 3. RESUMEN

Objetivo: El objetivo de esta revisión sistemática es determinar cuál es el segundo periodo crítico, asociado a los cambios neuroplásticos, posterior al ya conocido en niños sanos en los cuales se producirá un mayor cambio en el aprendizaje motor.

Metodología: Se realizó una búsqueda bibliográfica en los buscadores Scielo y Pubmed y Oxford, utilizando las palabras “motor learning”, “neuroplasticity”, “healthy child”, “critical periods”, “re- opening Windows”. Se seleccionaron los artículos que cumplieron con los criterios de inclusión, para luego ser registrados en fichas bibliográficas. Se realizó una evaluación de la calidad de cada uno de los artículos escogidos mediante la escala de Pedro.

Resultados: Se escogieron en total 18 artículos: 16 experimentales aleatorizados, 1 de tipo observacional, 1 cuasi experimental, los cuales cumplieron con los criterios de inclusión. En todos los artículos se aplicaban estudios que relacionaban los resultados obtenidos con la neuroplasticidad en niños.

Conclusiones: Se concluye que existe un período crítico secundario al de los primeros años de vida, y que la ventana de oportunidad neuroplástica se encuentra alrededor de los 9 años de edad.

**Palabras clave:** aprendizaje motor, edades significativas, periodos críticos, neuroplasticidad, niños sanos, reabriendo la ventana.

#### **4. INTRODUCCIÓN**

Filogenéticamente, el ser humano se ha diferenciado de otras especies por su capacidad de adaptación a diversas situaciones. Desde la vida intrauterina que el feto se encuentra en constantes cambios, tanto en su crecimiento, como en el desarrollo de estructuras sensibles, que lo convierten en un ser con un grado de complejidad dentro de su desarrollo, tanto de función, como en situación. Sin embargo, si se analiza más en profundidad, todo este complejo proceso es más bien producto de una acuciosa evolución; compuesto por fases sucesivas y que, de una manera muy ordenada van ocurriendo de la misma forma en un desarrollo normal. Este desarrollo típico en un individuo, es entonces un proceso evolutivo, multidimensional e integral (Vargas, 2008).

Una de estas adaptaciones al desarrollo se refiere a la manera o la capacidad que tiene el sistema nervioso de adaptarse frente a distintas situaciones, sean estas buenas (aprendizaje) o malas (daño) y; se van adquiriendo una serie de habilidades producto de respuestas complejas, frente a diferentes momentos. El desarrollo de periodos críticos de la

neuroplasticidad marca uno de los mayores hitos en este desarrollo cerebral, que ocurre durante los primeros 2 años de vida (Gao y cols., 2016), en el cual se produce una “aceleración en el número de sinapsis dentro, y en la corteza cerebral”; es lo que llamamos “período crítico”, el cual se define como una ventana temporal en el que se permite el desarrollo de una nueva habilidad, la cual se presenta desde el nacimiento hasta los 5 años (Vargas, 2008). Es un momento determinado en el desarrollo del sistema nervioso, en donde se pueden establecer mejores condiciones para lograr el desarrollo de una función, generándose modificaciones en las conexiones neuronales, eliminando o reorganizando estos circuitos. Esto, relacionado directamente con los factores ambientales, que al ser privados los sistemas de estas influencias para el correcto desarrollo, provocará que la función no se logre de la mejor forma posible, inclusive si el estímulo apareciera en un período posterior. Una vez que termina este período sensible, no existe algún elemento en la experiencia que influya sobre éste; sin embargo, el hecho de estar frente a estímulos poco apropiados si influiría, lo que hace que sea más difícil de generar cambios (Curley y Champagne, 2015). Este período crítico, el cual se observó mediante el desarrollo visual en gatos pequeños, los cuales después de ser privados del estímulo visual, perdían la visión (Hubel y Wiesel, 1970).

Los periodos sensibles para el desarrollo, sin embargo, estarían asociados a una ventana de tiempo mas amplia que permitiría cierto aprendizaje y que

corresponde a los periodos en los cuales es posible incorporar nuevas habilidades; están más orientados a los procesos complejos, y tienen su mayor incidencia en la etapa infantil, y resultan de una gran importancia en el proceso de aprendizaje durante toda la etapa escolar. En estos períodos se favorecerían principalmente las conexiones entre distintas áreas y la posibilidad de integrar mejores procesos cognitivos complejos (Pinto, 2010).

Según lo expuesto, se presenta la interrogante, ¿Podrá existir otra ventana temporal crítica para el aprendizaje motor en niños sanos?

La ventana de plasticidad presente en el periodo crítico del desarrollo cerebral durante los primeros años, ¿Se podrá volver a abrir?

La siguiente revisión sistemática se enfoca en la existencia de un segundo período neuroplástico y cuál sería el rango etario que produce mayores cambios en el aprendizaje en base a la neuroplasticidad. Además, de indagar sobre las investigaciones disponible y ver las realidades de adquisición de nuevas habilidades.

Esta y otras interrogantes son las que se irán dilucidando en las siguientes páginas, con el desarrollo de esta revisión.

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1 NEUROPLASTICIDAD**

#### **5.1.1 Aspectos Históricos**

Como parte de la historia que engloba al término neuroplasticidad, “Bulletin de la Societé Anatomique” de París, nombra al lenguaje humano como una función encefálica localizada en el giro frontal inferior izquierdo (Broca, 1861). Posteriormente, se confirma este postulado, agregando que el lenguaje tiene un sustrato biológico en los hemisferios cerebrales, agregando otra ubicación a nivel de la porción posterior del giro temporal superior izquierdo, generándose así los inicios de los estudios en neuroplasticidad, en base a una corriente localizacionista, la cual indica que toda función motora, sensorial o cognitiva tiene una ubicación específica a nivel de la corteza (Wernicke, 1874; Garcés-Vieira y cols., 2014).

Como parte de la estructura cerebral, se encuentran compuesta por subunidades menores o neuronas, lo que se suma a la idea que explica la estructura cerebral es como un “gran sincitio” (Ramón y Cajal, 1888; Mazzarello y Golgi, 1999). Es aquí donde se centran las bases de lo que

posteriormente fue la corriente localizacionista, la cual plantea que toda función motora, sensorial y cognitiva posee una ubicación específica; esto sumado a la teoría neuronal, la cual plantea la existencia de subunidades estructurales como parte del encéfalo (Ramón y Cajal, 1888).

Existe discusión sobre la teoría inicial en la cual se plantea la idea sobre neuroplasticidad. Sin embargo, existen algunos registros, en el cual se atribuye el término de plasticidad cortical, referido a una huella física o química que dejaría el paso de un impulso nervioso en una célula nerviosa, en este caso de las neuronas (Garcés-Vieira y cols., 2014; Broca, 1861).

Por medio de lesiones observadas en la corteza motora de monos jóvenes y adultos, se observó que un déficit motor es menos severo en primates más jóvenes, lo cual indica que a menor edad existen menos lesiones y con esto un menor nivel de alteración, debido a la gran capacidad de recuperación presente en este período (Kennard, 1936). Al respecto, en base a las teorías planteadas, es la experiencia la que lleva a una remodelación sináptica (Gao y cols., 2016). Posteriormente, se propone la plasticidad asociativa como un mecanismo coincidente entre la actividad pre y post sináptica, lo que podría modificar las conexiones neurales en determinadas estructuras del cerebro (Hebb, 1947).

Por otro lado, en 1960 y 1970 por medio de estudios de ultra estructura sináptica (Berlucchi, 2002), y en base a los factores de crecimiento neuronal

(Jones, 2004), los paradigmas científicos en torno a la actividad cerebral cambiaron, desde entenderlo como una estructura rígida e inmodificable, a un entendimiento de estructura más bien de tipo flexible, dinámica, adaptable y plástica (Raisman, 1973).

Es en medio de todo este ambiente teórico, que en la década de 1970 se publican una serie de trabajos originales, que relacionaron el campo clínico con el práctico, en conjunto a los conceptos de neuroplasticidad postulados en la década anterior; se plantearon cambios en los mapas somatosensoriales posteriores a una amputación digital en monos adultos (Merzenich, 1984); y con la formación de nuevas conexiones en cerebros murinos adultos posteriores a una desaferentización parcial (Egger, 1971).

Los cambios estructurales al los cual se somete el sistema nervioso fueron demostrados, en base a mejorías adaptativas en animales adultos, con un entrenamiento específico luego de una injuria cerebral (Montalcini y Angeletti, 1968; Raisman y Field, 1973). Finalmente, entre los años 1990 y 2010 se dieron los principales avances en la terapia de células madres neuronales, factores de crecimiento nervioso y el papel de enzimas en el SNC (Kaas y cols., 1983; Fawcett, 2009; Dombovy, 2011).

### 5.1.2 Conceptos Generales

La neuroplasticidad se refiere a la capacidad del cerebro de modificar y crear nuevas conexiones neuronales, pudiendo aumentar o disminuir el número de ramificaciones neuronales y de sinapsis, a partir de un estímulo enviado a la corteza cerebral, y que pueden provocar cambios tanto bioquímicos como fisiológicos, en base a toda respuesta cerebral originada frente a cambios internos o externos, obedeciendo a modificaciones de reorganización (Garcés-Vieira y Suárez-Escudero, 2014). Es por esto que se comprende que la neuroplasticidad es la base estructural y de soporte de procesos complejos, del aprendizaje y de funciones cognitivas superiores (Wilson, 2010; Phillips, 2010).

El proceso neuroplástico es transmitido a través de la corteza cerebral, hablándose de plasticidad cortical, dividiéndose ésta en dos subprocesos: plasticidad cortical fisiológica (sustrato del aprendizaje y de la memoria humana, y subproceso que se lleva a cabo en el neurodesarrollo), y plasticidad cortical patológica (que es subdividida en adaptativa y mal adaptativa) (Conforto, 2007; Floel, 2006).

En la neuroplasticidad se basan los procesos de neuro-rehabilitación tanto clínicos como experimentales, posterior a daños del sistema nervioso los que optimizan el desempeño de la redes cerebrales (Duffau, 2006).

Este desarrollo que expresa nuevos cambios a nivel cerebral va a permitir una reparación de circuitos cerebrales, en donde se irán integrando nuevas áreas, dando paso a la realización de funciones modificadas de acuerdo a diversas injurias, como también importantes relevancias en torno al aprendizaje (Subhash, 1997).

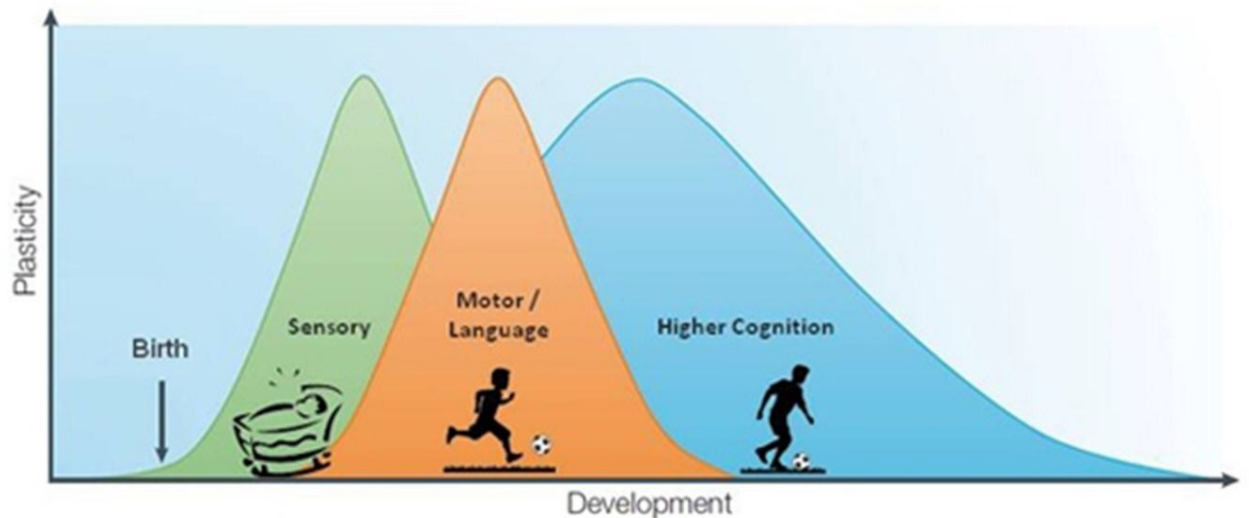


Fig 1: Ventana de neuroplasticidad en el desarrollo cerebral. (Extraído de Takao y cols, 2012, Adaptado de Hensch, T.K. (2005).

## 5.2 Creciente desarrollo dendrítico

Períodos de máximo desarrollo de arborizaciones cerebrales presentes en un recién nacido, a los tres meses y a los dos años, en donde inicialmente se observan escasas arborizaciones y ramificaciones. Posteriormente, se produce un enmarañamiento de redes neuronales, manteniéndose el número de neuronas de manera estable (Conel, 1959).

Para que ocurra esta precisión y configuración compleja en un cerebro adulto, es importante que el cerebro sea estimulado desde el nacimiento, ya que se conocen de casos que bebés poco estimulados, generan menor desarrollo cerebral en comparación a un bebé estimulado. Esto también interfiere en el normal desarrollo motor, lo cual es producto de una menor estimulación neuroplástica (Conel, 1959), constituyendo la etapa más vulnerable de un organismo. Si durante este período se dan las condiciones apropiadas, puede obtenerse como resultado un desarrollo cerebral rápido, pero, si por el contrario, ocurren restricciones o daños, pueden ocasionarse efectos negativos irreversibles al SNC. Este grado de flexibilidad neuronal difiere de una región del cerebro a otra. Las regiones que se desarrollan más

tarde en la infancia, como los lóbulos frontales o el cuerpo caloso, resultan ser más maleables que las que se desarrollan en los primeros días y semanas de vida, como la corteza sensorial primaria (Gardner,1995).

### **5.2.1 Periodo crítico-ventana plástica**

Los estudios experimentales de los últimos años han intentado relacionar la actividad de los sistemas de organización cerebral con el periodo crítico de la plasticidad neuronal y la facilitación de cambios estructurales a nivel cortical (Hernández-Muela, 2004).

Se ha estudiado el rol de las neurotrofinas, factor de crecimiento nervioso (NGF), neurotrofina 3 (NT3) y factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), como factores desencadenantes en la viabilidad y maduración neuronal, también implicadas en la formación dendrítica, sinapsis y regulando la eficacia sináptica. El BDNF es muy importante para el periodo crítico, ya que actúa como factor limitante durante este periodo, pues las aferencias desencadenan su liberación en la corteza cerebral dependiendo de su actividad, por lo que sus niveles son bajos para estímulos que llegan con posterioridad, explicando con esto la base de la naturaleza competitiva de la plasticidad. Es por esto que la cantidad de BDNF es baja durante el

periodo crítico, participando en la selección de sinapsis, y aumentado una vez transcurre este periodo, dejando el BDNF de ser un factor limitante. El receptor NMDA también juega un rol importante en la regulación y limitación de la plasticidad neuronal, a través del cambio de las sinapsis excitatorias glutaminérgicas. La consolidación y el debilitamiento sináptico que dan lugar a la plasticidad cerebral se explican con el modelo de la potenciación a largo plazo (PLP) y la depresión a largo plazo (DLP). Estas formas de plasticidad neuronal dependen de la entrada de calcio al interior de la célula regulada por la actividad del glutamato sobre los receptores NMDA, responsables de la facilitación de la expresión de proteínas sinápticas. Con la detección de estas transmisiones mantenidas en el tiempo, se promueve los cambios estructurales debido al mantenimiento de las sinapsis (Morales, 2003).

El mecanismo relacionado con el receptor NMDA une la plasticidad neuronal con la experiencia sensorial durante el periodo crítico y se extiende a otras formas como lo son el aprendizaje, la memoria y el desarrollo en general. El periodo crítico podría depender de la extinción del PLP y DLP, además de la maduración de la inhibición gabaérgica que coinciden con este momento. La manipulación que acelera o retrasa la inhibición gabaérgica afecta al periodo crítico, alterando la inducción de PLP Y DLP. Existe evidencia de que en edades adultas mediante la inhibición de la regulación gabaérgica, se facilitación los cambios neuroplásticos, por ende la posibilidad de recuperación existe también pasado este periodo crítico, pero se encuentra limitada por los mecanismo de inhibición cortical (Hernández-Muela, 2004).

La plasticidad se encuentra regulada por las aferencias colinérgicas, adrenergicas y serotoninérgicas, que regulan la reorganización cortical y además actúan sobre la regulación o inducción de PLP y DLP, con ello influirían en la reorganización y plasticidad de la corteza cerebral. A través de experimentos en ratas se han mencionados genes involucrados en la plasticidad y el periodo crítico, como el gen del complejo mayor de histocompatibilidad y el gen candidato a la plasticidad 15 (CPG 15), cuyas expresiones coinciden con el periodo crítico (Riveros, 2005). La maduración de la matriz extracelular (MEC), compuesta por proteoglicanos, también se ha relacionado con el establecimiento de este periodo dificultando el crecimiento dendrítico. Es por esto que el bloqueo de la función de los proteoglicanos condroitín-sulfato, ampliaría el periodo crítico en adultos (Riveros, 2005).

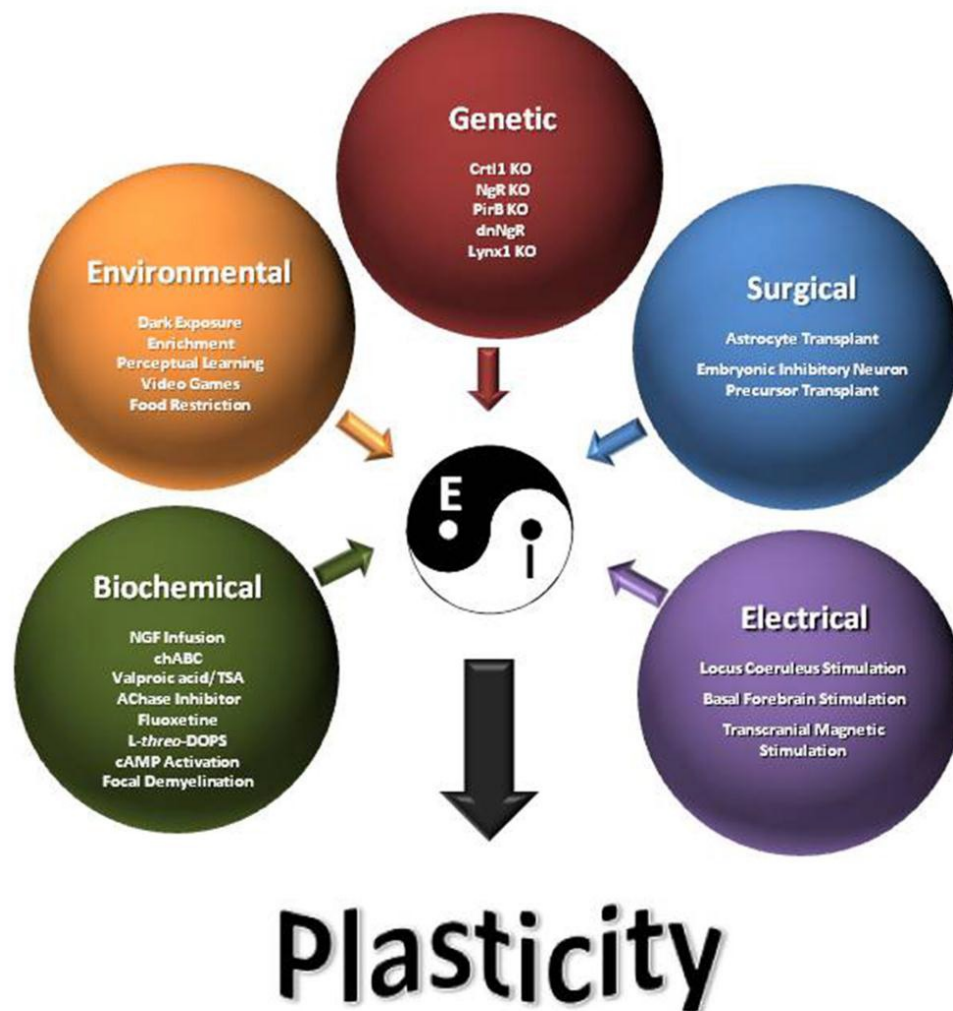


Figura 2: Factores que afectan el periodo crítico (Extraído de Takao y cols., 2012).

## **5.3 PERIODOS CRÍTICOS Y NEUROPLASTICIDAD**

### **5.3.1 Formas de medición de los cambios neuroplásticos cerebrales.**

Diversos métodos neurofisiológicos han permitido cuantificar las modificaciones neuroplásticas del cerebro, dentro de ellos destacan: la magneto encefalografía (MEG), de buena resolución temporo-espacial al ser usada en conjunto con neuroimagen; la resonancia nuclear magnética (RM); la resonancia magnética funcional (RMf); la tomografía por emisión de positrones (PET), de fotón único (SPECT) y la estimulación magnética transcraneal (TMS) mediante la estimulación de lugares sobre el cuero cabelludo para la activación de un determinado músculo (Riveros, 2005). Por medio de estas técnicas, se han podido generar líneas de investigación en los mapas de activación de la corteza cerebral al realizar distintas funciones motoras, cognitivas y de integración sensorial. Esto permite analizar el funcionamiento cerebral en individuos normales, observando las transferencias de funciones entre distintas áreas corticales de mapas somatotópicos de representación de un dominio motor en la corteza motora o de la zona encargada del procesamiento del lenguaje. Los patrones de

reorganización de la corteza cerebral no son los mismos a pesar de que los mecanismos básicos neuroplásticos son compartidos por toda la corteza cerebral. La estructura cerebral está en un constante cambio en respuesta al aprendizaje, la adquisición conductual y motora. Los estudios en TMS y su correlación con los hallazgos encontrados en RMf y PET, han influido en la comprensión de la forma en que la corteza motora y somatomotora se adapta y genera cambios neuroplásticos (Rosales, 2003)

La memoria por tanto, es un proceso en el cual aumenta la eficacia sináptica y ocurre cuando una neurona A descarga repetidamente sobre una neurona B, de tal manera que se establece un cambio donde B responde más activamente a A. La PLP, la DLP, la potenciación postetánica y la plasticidad por pulsos pareados se relacionan con la neuroplasticidad, en donde esta última es ampliamente utilizada como forma de medir los cambios neuroplásticos, los cuales resultan de la estimulación por pares de pulsos de una población de neuronas, lo cual predispone a una modificación en la respuesta sináptica. En caso de que la respuesta al segundo pulso sea mayor que la primera, hablamos de que hubo una facilitación por pulsos pareados (PPF) en caso contrario recibe el nombre de depresión por pulsos pareados (PPD) (Hebb, 1949).

## 5.4 Tipos de neuroplasticidad

Luego de definir a la neuroplasticidad se deben entender los diferentes tipos de ésta. Existen dos tipos fundamentales de neuroplasticidad (Ginarte, 2007):

### 1) **Plasticidad por crecimiento:**

- Regeneración axonal
- Colateralización o gemación
- Sinaptogénesis reactiva
- Neurogénesis

### 2) **Plasticidad funcional:**

- Plasticidad sináptica.

### 1) **Plasticidad por crecimiento:**

- Regeneración axonal: Los axones del SNP pueden regenerarse por crecimiento a partir del cabo proximal, pero esto no ocurre en el SNC. Este acontecimiento se debe a la incapacidad esencial de las

neuronas centrales, debido a que cerca de las neuronas dañadas se encuentran signos de regeneración abortiva llamada gemación regenerativa.

- Colateralización o gemación; La regeneración axonal se diferencia de la gemación en que en esta última el crecimiento se genera a partir de axones sanos, los cuales pueden provenir de neuronas sanas o de ramas colaterales de axones dañados. Este proceso normalmente finaliza con la formación de sinapsis nuevas.

- Sinaptogénesis reactiva: La generación y dimensión de nuevas ramas axonales terminan al formarse relaciones sinápticas nuevas, por lo que la sinaptogénesis reactiva es parte indisoluble de un proceso que parte con la colateralización y culmina con la generación de nuevas relaciones funcionales. Se le denomina reactiva para diferenciarla de la sinaptogénesis normal que transcurre en etapas intermedias del desarrollo embrionario, pero no parecen existir diferencias significativas entre los mecanismos de ambas sinaptogénesis.

- Neurogénesis: La cual corresponde a la formación de nuevas neuronas. En ratas se conocen 2 sitios en los cuales la neurogénesis se mantiene activa hasta edades avanzadas, la zona subventricular de los ventrículos laterales y el giro dentado del hipocampo.

## **2) Plasticidad funcional.**

- Plasticidad sináptica: La cual corresponde a la capacidad plástica de las conexiones sinápticas, las cuales pueden expresarse de distintas formas dependiendo de la duración y de los mecanismos implicados, debido a que existen mecanismos que generan cambios transitorios de la eficacia sináptica que transcurren desde milisegundos a minutos y otras que permanecen en el tiempo como la PLP.

Actualmente la plasticidad neuronal se propone como un importante mecanismo en la maduración funcional de la sinapsis y en los procesos de remodelación.

## 5.5 PATRONES MOTORES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS EN EL DESARROLLO DEL NIÑO

La realización de habilidades funcionales requiere de patrones selectivos y complejos, así como de la coordinación muscular. Éstos a su vez dependen de un sistema nervioso cerebral intacto y de la presentación de patrones motores básicos que adquiere el niño (Carrasco y Carrasco, 2006).

### 1. Patrones motores primarios:

- Evolución del tono ya sea por hipertono o hipotono.
- Control ortostático y equilibrio para el desarrollo de la marcha: el control vertical y el desarrollo del equilibrio necesario para la locomoción necesitan de:  
  
Disminución de la base de sustentación; Elevación del centro de gravedad; Control del cuerpo en situaciones estáticas y dinámicas; Control de la motricidad y coordinación; Control entre la musculatura flexora y extensora.
- Desarrollo de la prensión y manipulación:  
  
Desarrollo del agarre; de la prensión y de la manipulación.
- Manipulación y comienzo de la lateralidad: Desarrollo del movimiento bilateral refinado.

## 2. Patrones motores secundarios:

- Marcha: Comienza con un desplazamiento asistido para pasar a una marcha buscando el equilibrio y la estabilidad la poca estabilidad genera una marcha con mayor flexión de extremidades y apertura de brazos. Hacia el tercer año de vida el niño logra desarrollar una marcha más automatizada, que requiere de poca atención visual. Al 4 año de vida ya se genera una marcha más armoniosa y con un movimiento rítmico de brazos.

Características la marcha:

Tronco recto; Brazos con un balanceo libre; Brazos con balanceo en oposición a las piernas; Movimientos rítmicos en las zancadas; Pies en línea con la dirección de la marcha; permanente contacto con el suelo.

- Correr: Comienza a los tres años de vida. Se caracteriza por:  
Pasos de distinta longitud; apoyo en toda la planta del pie; brazos rígidos.

Hacia los 5 años la carrera se perfecciona:

Carrera rápida, aumento de la longitud del paso; apoyo del pie con los dedos; menor contacto con el suelo; los brazos se balancean más.

A partir de los 6 años se logra la etapa madura:

Se logra una fase sin apoyo del pie en el suelo; pierna de apoyo se

flexiona con movimiento de amortiguación; mayor propulsión; mayor flexión de extremidades.

- Salto: Este es logrado entre adaptaciones a partir de modificaciones de la carrera y la marcha.

En los 18 meses se produce la etapa inicial:

Primeros patrones con un paso exagerado para descender de poca altura.

Aparece antes de que el niño tenga la fuerza necesaria para impulsar su cuerpo, porque se genera a favor de la gravedad. Para compensar la falta de equilibrio permanece en contacto con la superficie de la que salta. Los brazos casi no participan y tienden a irse hacia atrás.

Hacia los 3 años, se inicia la etapa fundamental con las siguientes características:

El fortalecimiento muscular y el aumento en el equilibrio permiten saltar desde lugares más altos y tomar impulso con ambos pies.

La participación de las piernas tiene mayor desarrollo que la participación de los brazos.

Los brazos aportan en la mantención del equilibrio y luego comienzan a participar apoyando el desempeño de las piernas.

1. La coordinación entre brazos y piernas permiten saltos más altos y con mayor distancia.

A los 4 años se logra un salto maduro, que comprende las 4 etapas

del salto: impulso, despegue, vuelo y aterrizaje.

Mayor flexión de todas las articulaciones

Coordinación de brazos y piernas de manera eficiente

- Desarrollo del salto unipodal

- El lanzamiento:

Comienza a partir de los 6 meses

-Se comienza a desarrollar a partir de las habilidades manipulativas de alcance, tomar y soltar

- Al comienzo para soltar es necesario apoyar el objeto en una superficie dura.

- El lanzamiento de los objetos se inicia desde la posición sentado generalmente con un movimiento desde abajo.

- A partir del año hasta los 3 años se inicia la etapa elemental:

- Se comienza a arrojar los objetos por sobre los hombros.

- Lanzamiento por extensión del brazo.

- Disminuye la participación de las piernas.

- El cuerpo se ubica de manera perpendicular al blanco.

- Ocurre un ligero desplazamiento del cuerpo hacia posterior cuando el brazo se dirige hacia anterior.

A Partir de los 3-6 años se inicia la etapa de maduración del movimiento:

- Rotación corporal hacia el lado del brazo que se desplaza hacia

atrás en el impulso.

- Movimiento del brazo hacia atrás en un plano oblicuo altos.
- Movimiento de los pies acompañando al realizado por el tronco y los brazos.
- Extensión total del brazo en el momento de soltar el objeto.
- Al final de esta etapa se logra un movimiento integrado entre brazos piernas y tronco.
- La recepción:

Se inicia a los 2-3 años de vida y la etapa inicial presenta las siguientes características:

- Reacción de rechazo a la llegada del objeto.
- No existe intento de atrapar el objeto hasta que se produce el contacto manual.
- La palma de las manos va en dirección hacia arriba, dedos en extensión y tensionados.
- Escasa coordinación temporal.

A partir de los 4 años se inicia la etapa elemental:

- Desaparece gradualmente la reacción de rechazo.
- Seguimiento del objeto con la vista.
- Antebrazos delante del cuerpo en flexión y con los codos junto al cuerpo.
- Palmas perpendiculares al suelo.

- Las manos aún presentan dificultad para alcanzar el objeto.
- El objeto es atrapado entre los brazos y el cuerpo.
- Mayor facilidad para atrapar objetos que se desplazan por una superficie que los que se desplazan por el aire.

A partir de los 6 años, se genera una etapa de madurez de la recepción, la cual presenta las siguientes características:

- Seguimiento visual del objeto desde el inicio de su trayectoria.
- Brazos flexionados y relajados.
- Los brazos tratan de absorber la fuerza del objeto.
- Las manos adoptan la forma del objetos con pulgares y meñiques en oposición,
- Buena coordinación motriz y temporal,
- El golpeo:

Hacia los 1-2 años se inicia el golpeo de objetos con las siguientes características:

- Se inicia al querer agarrar objetos en movimiento
- Se utilizan las extremidades superiores para provocar más movimiento.
- Movimientos muy rudimentarios.

A partir de los 3- 4 años se inicia la etapa elemental, la cual presenta las siguientes características;

- Utilización de un instrumento para golpear otro objeto.

- Movimientos poco eficientes.
- El éxito del golpe va a depender de las características de los objetos utilizados.

A partir de los 6- 7 años se origina la etapa madura:

- Identificación de dos fases en el movimiento de golpeo:
  - Fase preparatoria: Posición del sujeto con pies separados, perpendicular al objeto a golpear, rotación corporal hacia posterior y control visual del objeto.
  - Fase de acción: Retorno de la rotación del tronco, cambio de peso hacia anterior, acompañamiento de la trayectoria del golpe con el cuerpo y con los brazos.
- Patear un balón:

Se genera a partir de los 2 años, con las siguientes características:

- Requiere un nivel de equilibrio que le permita estar sosteniendo su peso en un sola pierna,
- Al principio el balanceo de la pierna es limitado.
- Escasa participación del tronco, brazos y piernas.

A partir de los 3- 4 años, se inicia la etapa elemental con las siguientes características:

- Aumento de la participación de las extremidades superiores.
- La patada se genera desde la rodilla con inercia suficiente.

- Se incorpora la fase de impulso, con desplazamiento de la pierna hacia atrás antes de patear.
- La pierna que genera la patada, una vez que finaliza el golpe continua su recorrido hacia anterior,
- Inicio de la flexión de la pierna de apoyo y ligero desplazamiento del peso hacia los dedos de los pies.

A partir de los 6 años se origina la etapa madura:

- Movimiento con toda la pierna, partiendo desde la cadera.
- Movimiento de los brazos coordinados con el de las piernas.
- La pierna y el pie de apoyo se flexionan más.
- Participación coordinada del tronco que se flexiona a la altura del pecho.
- El contacto del pie con la pelota se establece por debajo de esta lo que permite generar altura a la trayectoria.

La evolución de los procesos motores en la adolescencia presenta las siguientes categorías:

- 1) Inicia un proceso cuantitativo y cualitativo el cual tiende a una especificación de las conductas motoras.
- 2) Las cualidades motrices se ven influenciadas por un mayor autocontrol, una mayor intelectualización de las tareas a realizar y un mayor nivel de atención, imaginación y percepción.

- 3) El rendimiento motriz en etapas de la adolescencia presenta un alto índice de variabilidad de un sujeto a otro.

Algunos factores que influyen en la adquisición de las habilidades nombradas anteriormente:

- 1) Factores endógenos:

- Actitudes.
- Nivel intelectual.
- Somatotipo.

- 2) Exógenos:

- Experiencia.
- Medio ambiente.
- Entorno familiar.

## 5.6 APRENDIZAJE MOTOR EN EL NIÑO

El aprendizaje en general se define como la adquisición de conocimiento a través de la experiencia. El aprendizaje motor incluye el movimiento de manera que haya un cambio con relación al momento previo y que estos cambios perduren en el tiempo. Este aprendizaje generará cambios en la estructura nerviosa producto de las repeticiones de movimiento. De esta manera, la repetición consciente de un movimiento obliga al organismo a identificar y conservar dicho movimiento, modificando conductas. El aprendizaje se puede también definir como la creación de rutas neuronales que perduran gracias a la repetición. Esto va a implicar la adquisición (percepción y atención), el almacenamiento (memoria) y la posterior utilización de información relacionada con dicha conducta. (Oña y cols., 1994; Oña y cols., 1999).

### 5.6.1 Teorías sobre el aprendizaje motor

Existen esquemas realizados por varios investigadores que describen el aprendizaje motor. Estas ideas son las que han ido evolucionando a partir de ideas conductistas de los años 50. En la actualidad, se ha preferido generar un cambio de mentalidad y definiciones, basándose principalmente en el resultado que lleva a una respuesta de ese aprendizaje. Estas teorías han intentado resaltar el papel de los procesos y operaciones cognitivas, base de todo aprendizaje de habilidades tanto motrices como deportivas (Ruiz Pérez, 1995).

Según las teorías basadas en la teoría principal del aprendizaje (Skinner, 1938) (Figura 3); dentro de la percepción conductista se destacan los siguientes autores:

- Singer (1986), el cual define el aprendizaje como un proceso de adquisición de nuevas formas de generar movimiento.
- Grosser y Nevimaier (1986): quien define el aprendizaje como un proceso de obtención, mejora y perfeccionamiento de habilidades motrices, que proviene del resultado de la repetición o práctica de

secuencias de movimiento de manera consciente, lo que dará como resultado una coordinación entre el sistema nervioso central y muscular.

Teorías que resaltan el aprendizaje cognitivo:

- Hotz (1985): estipula que todo aprendizaje genera una acción y/o representación mental.
- Schmidt (1982): por su parte, argumenta que el aprendizaje motor genera un procesamiento informativo, en que se agrupan diversos estudios:
  - a. Identificación del estímulo (INPUT):
    - Reconocimiento de patrones
    - Abstraer significado
  - b. Selección de respuesta
  - c. Programación y reutilización (OUTPUT)
  - d. Reutilización de respuestas para información inicial como identificación del estímulo.

Por tanto, estas teorías se han dividido en 3 momentos:

- Conductistas y asociacionistas (Pavlov 1910; Skinner 1940; Rushall y Siedentop 1972).
- Período informativo del aprendizaje, los cuales observan la práctica

en laboratorio: (Adams 1971; Schmidt 1972; Hotz 1985).

Período motor o aprendizaje motor, donde se aplican conocimientos prácticos para solucionar problemas.

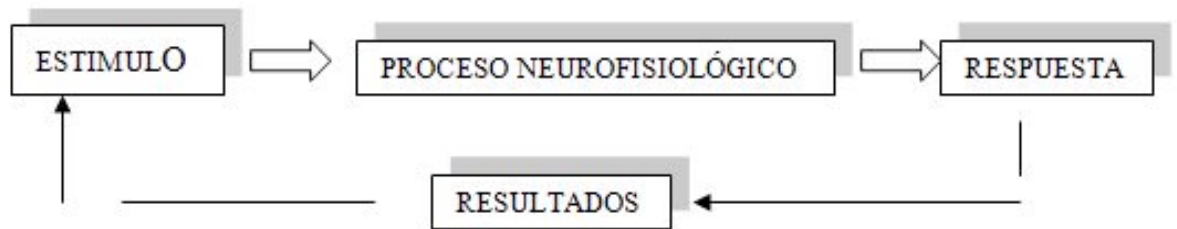


Figura 3: Esquema Aprendizaje operante de Skinner (Extraído de Falcón y cols., 2010).

### 5.6.2 Fases del aprendizaje motor

Se describen 4 fases en el aprendizaje motor (Hotz y Weineck, 1983):

1. Fase de información y aprehensión: Es la etapa en la cual el sujeto toma conocimiento de los movimientos que debe aprender, se ayuda de las experiencias previas que tiene de dicho movimiento y de la observación. En esta fase intervienen las áreas cerebrales 6 y 8 Brodmann encargada de la

programación de los movimientos.

2. Fase de coordinación rústica: La información básica en esta etapa son las experiencias de la ejecución práctica del movimiento, como lo son las órdenes verbales. Al finalizar esta etapa la ejecución del movimiento a aprender todavía se realiza de manera tosca, y puede incurrir en brusquedad del movimiento, falta de ritmo, amplitud insuficiente y falta de precisión. Esto, debido a la falta de estabilización de procesos físico-químicos, por lo cual aún hay gran cantidad de errores.

3. Fase de coordinación fina: En esta etapa se comienza a utilizar el gasto de energía, de fuerza y de amplitud necesarios, además de los movimientos que comienzan a ser más fluidos. Cuando el Sistema nervioso central optimiza sus procesos las repuestas motoras son más eficientes, porque el sistema corticoespinal está consolidado.

4. Fase de consolidación, perfeccionamiento y disponibilidad variable: En esta etapa existe una coordinación exitosa de los movimientos, los cuales se vuelven automáticos lo que permite prestar atención en puntos del desarrollo motor. Ahora el SNC genera nuevas neuronas para la memoria de procesos realizados. El movimiento ya no requerirá de un control voluntario.

## **5.7 EDADES SIGNIFICATIVAS EN EL APRENDIZAJE MOTOR DEL NIÑO**

Desde hace varios años que existe un interés por el estudio del aprendizaje motor, específicamente de las edades que se podrían considerar como mejores para el aprendizaje motor, desde los años 20 e intensificándose en los años 30. Varias aproximaciones han servido para poder documentar el desarrollo motor en bebés y en niños, entre ellos se encuentra el establecimiento de líneas cronológicas que se enfocaron en la observación sistemática, y los objetivos que se han determinado en las líneas de desarrollo durante el periodo de la vida de los niños (Sefeldt, 1986).

Las bases para la identificación y obtención de varias contribuciones significativas para el conocimiento del desarrollo motor, en líneas generales:

- a) se identificaron comportamientos motores comunes a todas las personas normales;
- b) las líneas de desarrollo motor pudieron ser determinados durante los primeros años de vida; y
- c) se establecieron bases para comparar el comportamiento motor en niños. La investigación que utilizó esta metodología dio lugar a las escalas de desarrollo, que posteriormente fueron utilizadas durante el progreso motor de los dos a tres primeros años

después del nacimiento (Blyley, 1936; Gesel y Armatruda, 1941).

Es por esta razón, que diversos argumentos en base a la relación motriz por edades en los niños estaría directamente relacionado al desarrollo cognitivo, llegando incluso a decirse que “todos los mecanismos cognoscitivos reposan en la motricidad” (Piaget, 1971).

En base a esto, se sustentan varias teorías (Carrasco y Carrasco, 2014):

- Piaget (1968), quien clasificó el desarrollo cognoscitivo en relación directa con el proceso de desarrollo en 4 grandes etapas:

Periodo sensoriomotriz (0 – 2 años): caracterizado por la aparición de capacidades sensoriomotoras, perceptivas, lingüística, locomotoras y manipulativas, en donde además aprende a organizar de una manera hábil la información sensorial. Es la etapa de adquisición de la noción del yo, espacio y tiempo.

Período preoperacional (2 – 7 años): En este período los procesos cognoscitivos y la conceptualización estarán operando por primera vez. Se observa la imitación, el juego simbólico y el lenguaje como elementos principales.

Período de operaciones concretas (7 – 11 años): Esta etapa se caracteriza por la aparición del pensamiento abstracto, donde el niño puede comenzar a realizar operaciones lógicas, la conservación y la reversibilidad.

Período de operaciones formales (11 – en adelante): Aquí se caracteriza porque el pensamiento opera independiente de la acción, donde las operaciones mentales son de mayor complejidad.

- Wallon: Destaca el papel de los comportamientos motores en la evolución psicológica, analizando la motricidad donde se determinó la existencia de los componentes: Función tónica y función fásica. De esto, formuló una división de la vida del ser humano en 4 estadios:

Estadio impulsivo (6 – 12 meses): La motricidad tiene un significado fisiológico: esto es, descargas de energía muscular donde se mezclan lo tónico y cinético, bajo la influencia de necesidades orgánicas.

Estadio sensomotor (12 – 14 meses): se genera un movimiento hacia el exterior, es decir, nace la necesidad de explorar e investigar.

Estadio proyectivo (2 – 3 años): La motricidad es acción sobre su mundo, donde utiliza la ideación y la representación.

Período de operaciones formales (3 - 4 años): La capacidad que posee en esta etapa es manifestado para poder favorecer su desarrollo psicológico.

Existen también otras 2 escuelas en el estudio: Europea y Americana, dentro de las cuales se enfocaron al estudio de la relación entre el desarrollo motor y sus objetivos:

- Escuela Europea: relación entre la mejora de aprendizajes escolares

y deficiencias mentales.

Ajuriaguerra: argumenta que el desarrollo motor va acompañado del desarrollo neurológico.

Azemar, entrega datos sobre el desarrollo motor:

- Los estímulos se adecuan al nivel de desarrollo.
- No se debe estimular de forma precoz al niño.

En las etapas iniciales del desarrollo no se debe recurrir a movimientos estereotipados.

En base a esto, determina las siguientes etapas:

- Etapa de 0 – 5 años:

- Planteamiento halocinético.
- Movimiento exploratorio.
- Aprendizaje por ensayo y error.
- Tanteo experimental en sus situaciones.

- Etapa a partir de 6 años:

- Comparación entre gestos motores.
- El movimiento se toma como planteamiento ideomotor.
- Planificación del gesto motor.

Da Fonseca, donde el desarrollo motor evoluciona en 4 fases:

- Fase de movimiento (nacimiento a 1 año)
- Fase de lenguaje (2 a 4 años): gestos con manos y cara, juegos de imitación social.
- Fase perceptivo-motora (4 a 7,5 años): el niño se relaciona con el mundo a través del movimiento.
- Fase de pensamiento (7,5 a 13 años): juicios de experiencias, verificación de observaciones, comparación y análisis sistemático.
- Escuela Americana: Cuyos principales exponentes son Cratty, Gallahue y Williams. Esta corriente da mayor importancia al desarrollo motor y al deporte, donde plantean la mejora de los aprendizajes escolares en base a las experiencias, planteando así menos metodologías de trabajo.

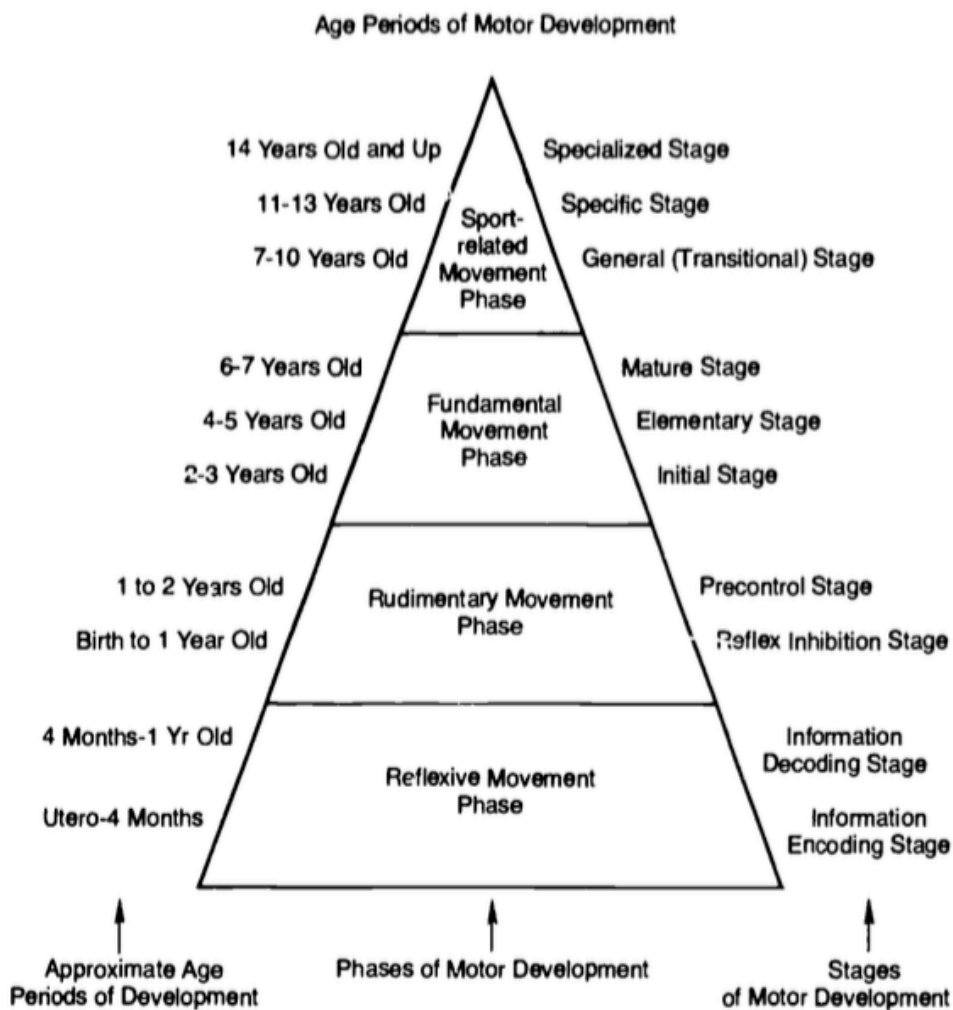


Fig 4: Fases del desarrollo motor por edad (Extraído de Sefeldt, 1986).

## 5.8 NEUROFISIOLOGIA DEL APRENDIZAJE MOTOR

Los mecanismos neurofisiológicos del aprendizaje en actividades motoras, deben tener en cuenta los niveles de organización, estructurados de manera jerárquica y en interacción dinámica. En estos niveles, las uniones inter-neuronales se pueden ir modificando por la experiencia de cada individuo, y por ende pueden intervenir los distintos mecanismos del aprendizaje en diferentes conexiones neuronales y dirigir el comportamiento motor final. El aprendizaje finalmente implica una interacción dinámica entre tres niveles de organización de la neurofisiología del movimiento. Los cuales son: 1) los mecanismos de base de la plasticidad neuronal a nivel celular y molecular; 2) el aprendizaje de los reflejos; 3) el Aprendizaje de los actos voluntarios. Hablar de aprendizaje motor implica necesariamente dos mecanismos fisiológicos fundamentales, 1) la potenciación a largo plazo (PLP) relacionado con el hipocampo y 2) la depresión a largo plazo relacionada con el cerebelo (DLP) (Bliss TV, 1973). Para producir una PLP se debe generar un impulso de corta duración, el cual va a servir de estímulo control. Este estímulo aplicado en una vía nerviosa iniciara una actividad sináptica que formará un potencial postsináptico excitador (PPSE). Para comenzar el proceso de aprendizaje, primero hay que asegurarse de que la amplitud del

PPSE se mantiene estable para determinar un estado de partida a través del cual pueda generarse un fenómeno de plasticidad (Chéron, 2011).

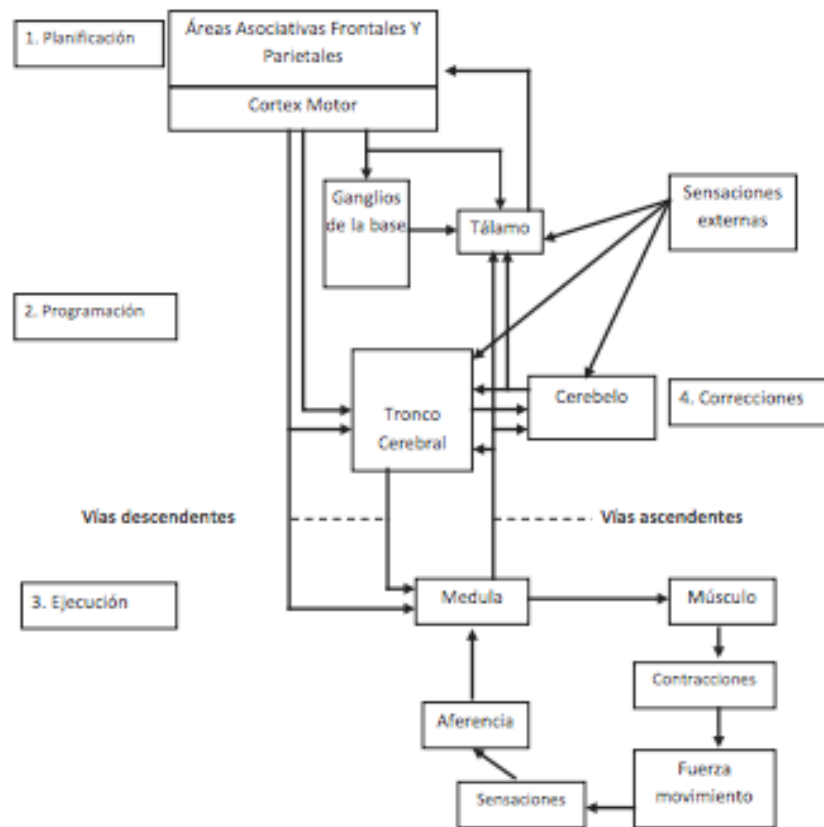


Figura 5: Modelo de los actos motores (Rigal, 1987) (Extraído de Suárez y cols., 2013, pag. 63).

Para generar una PLP se debe generar una estimulación tetánica del alta frecuencia durante un periodo de tiempo determinado, luego se vuelve a estimular la misma vía nerviosa, y se miden los PPSE inducidos. Posteriormente, se debe constatar que los PPSE han aumentado de forma importante, y que el aumento continúa durante un tiempo. El efecto inicial del PLP se explica por la entrada en acción de mecanismos ubicados

preferentemente a nivel de membrana de la neurona postsináptica. En cambio, las terminaciones presinápticas liberarán glutamato, más aun si la llegada de potenciales de acción realizada durante el aprendizaje se realiza a alta frecuencia. Este glutamato activará el AMPA, despolarizando la membrana postsináptica, lo que causa el desbloqueo del canal NMDA, debido al ión  $Mg^{+2}$  (Bregestovski, 1984), produciéndose así una entrada de Ca por el canal NMDA y después causará una cascada de reacciones bioquímicas, como el reclutamiento de la calmodulina cinasa que puede a su vez cambiar la receptividad del receptor AMPA y aumentar la fuerza de la actividad sináptica. El receptor NMDA, detector de coincidencia molecular, ocupa una posición central no sólo en el campo de la plasticidad del sistema nervioso central del adulto, sino también en el de su desarrollo (Bliss TV, 1993).

El receptor NMDA está en el centro del proceso de aprendizaje. Se ha demostrado que pueden aparecer nuevas neuronas en el giro dentado del hipocampo de los mamíferos que se insertan en los circuitos existentes y responden de manera correcta a las necesidades de un aprendizaje nuevo (Espósito y cols., 2005). Es el receptor NMDA solicitado de forma específica en respuesta a los estímulos adecuados durante un corto periodo de tiempo, el que decide sobre la supervivencia o la muerte de las nuevas neuronas (Sandler, Toni y Zhao, 2006).

A pesar de la importancia del receptor del NMDA, la selección natural ha conservado otros mecanismos para aumentar la duración de las actividades sinápticas. La repetición de las estimulaciones desencadenará otras reacciones en cascada movilizándolo la adenilil-ciclase, el ácido adenosina monofosfórico (AMP) cíclico, que activa a su vez a la proteína cinasa A (PKA), y la proteína cinasa activada por mitógenos (MAPK) para activar a nivel del núcleo neuronal los reguladores positivos de la expresión de los genes precoces. Estos reguladores se llaman CREB (proteínas transportadoras del elemento de respuesta del AMPc). CREB1 activará diferentes dianas genéticas para permitir la transcripción de nuevos genes y, al final, la síntesis de nuevas proteínas necesarias para la modificación estructural de las conexiones sinápticas existentes y la proliferación de nuevas conexiones (Kandel, 2001).

### **5.8.1 Rol del cerebelo en el aprendizaje**

El cerebelo está organizado siguiendo el símil de una estructura modular, en función de la organización de las vías de entradas procedentes de los núcleos olivares y de las proyecciones de los axones de las células de Purkinje (Ruigrok, 2004). Las señales que vienen de la periferia o de la corteza cerebral, llegan a la corteza cerebelosa por las fibras musgosas las

cuales activan las células granulares las que a su vez activaran a las células de Purkinje, estas son células inhibitorias que ejercen un control inhibitor sobre las células dianas de los núcleos profundos del cerebelo y en los núcleos vestibulares. Además las células de Purkinje son las únicas neuronas de salida de la corteza cerebelosa. La segunda vía de entrada al cerebelo corresponde a las fibras ascendentes de la oliva inferior, la célula de Purkinje adulta solo recibe información de una sola fibra ascendente, que produce una activación de los canales de  $Ca^{2+}$  dependientes de voltaje. La importancia de la oliva inferior en el cerebelo es uno de los componentes más importantes del funcionamiento cerebral y del aprendizaje (Cheron, Servais y dan, 2008).

Si las dos vías aferentes de entrada al cerebelo son estimuladas al mismo tiempo, la respuesta postsináptica de las células de Purkinje se reduce significativamente. Hablándose de una DLP, los mecanismos que generan esta DLP, permiten modificar de manera duradera la sensibilidad entre las fibras paralelas y las células de Purkinje, esta sinapsis se considera como un posible lugar de memorización (Ito, 2002).

### 5.8.2 Rol de los núcleos de la base en el aprendizaje

La neurofisiología no puede dejar de lado el rol de los núcleos de la base en la organización del movimiento (Alexander Ge, DeLong y Strick, 1986) (Corteza pre motora; el estriado; el globo pálido externo; el globo pálido interno; los núcleos subtalámicos y el tálamo).

La excitación del núcleo estriado, generará que dos vías principales se dirijan hacia el globo pálido interno (vía directa) y el globo pálido externo (vía indirecta). El globo pálido externo inhibe el tálamo el cual a su vez excita la corteza. La vía directa por la activación de la corteza retira la inhibición del tálamo, se considera que esta es una vía esencial de los programas motores necesarios a la acción. La vía indirecta, la vía inhibitoria del núcleo estriado, inhibe a su vez al globo pálido externo, el cual inhibe a los núcleos subtalámicos, y como las neuronas son excitadoras del globo pálido interno, la inhibición de las neuronas inhibitorias del globo pálido externo por el núcleo estriado excitara a los núcleos subtalámicos, que excitara al globo pálido interno cuyas neuronas inhiben al tálamo. Esta vía será la encargada de inhibir el movimiento (Chéron. 2011).

## **6. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **6.1 Objetivo General.**

Identificar la existencia de un nuevo período de edad significativa para el aprendizaje motor, posterior a los 3 años de edad.

### **6.2 Objetivos Específicos.**

- Determinar el período posterior a los 3 años en el cual existe mayor cambios a nivel de habilidades motoras en niños sanos.
- Describir los tipos de cambios asociados a la neuroplasticidad en niños.
- Evaluar la calidad y pertinencia metodológica de los estudios incluidos.

## **7. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **7.1 Estrategias de Búsqueda**

Se realizó la búsqueda durante el año 2016, en las siguientes bases de datos: PUBMED, Scielo, OXFORD, google académico.

La estrategia de búsqueda incluyó los siguientes términos claves o términos MeSH (Medical Subject Headings) “motor learning” or “Significant ages”, “critical periods” and “neuroplasticity”, “healthy child”.

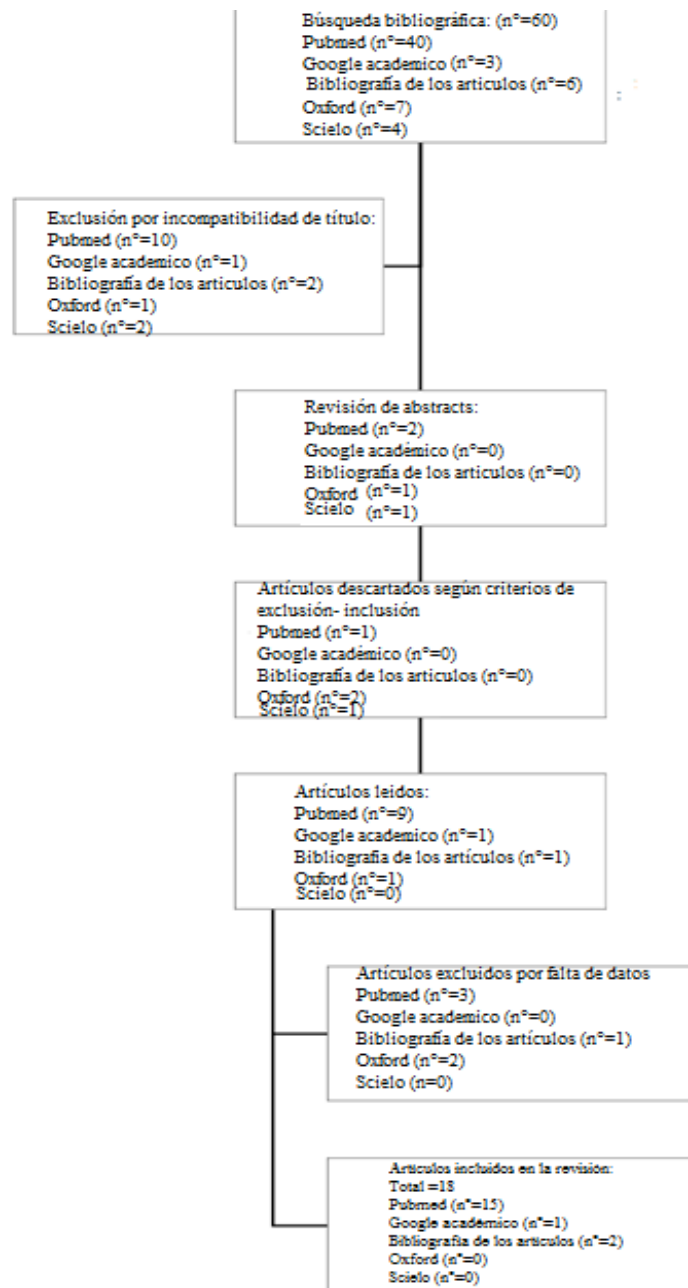
Dentro de los filtros utilizados para la aceptación de los artículos, estos debían estar en idioma inglés y español; que fueran estudios experimentales, con humanos, y artículos contemplados desde el 2006 al 2016.

## **7.2 Criterios de aceptación de los artículos científicos.**

### **Criterios temáticos.**

- Los estudios deben contemplar el trabajo experimental con niños sanos.
- Los estudios deben haber sido realizado en humanos.
- Los participantes de la muestra deben contemplar niños con edades >a los 3 años.
- Deberá poseer como variable central el aprendizaje motor de alguna habilidad.

Las estrategias de búsqueda y sus resultados se muestran en la figura 6:



**Figura 6:** Estrategias de búsqueda de la RS y sus resultados.

### **7.3 Recopilación de datos de los artículos.**

Luego que los artículos cumplieran con los criterios temáticos, se procedió a leer y se registró la información más relevante de cada uno en la ficha bibliográfica (Anexo 1). Estas fichas bibliográficas fueron fundamentales para dar cuenta de la información contenida en los artículos que finalmente eran excluidos de esta revisión sistemática.

#### **7.4 Criterio metodológico.**

El criterio metodológico se valoró a través de la escala PEDro (Anexo 3). El propósito de esta escala es evaluar la validez interna de los diferentes artículos seleccionados; la puntuación es en base a 11 ítems que pueden tener una puntuación de 1 (si cumple el criterio) o 0 (si no cumple el criterio). La puntuación final se determina contando el número de criterios de la lista que se cumplen en el estudio (Anexo 2). Deberá tener una calidad metodológica óptima, con un puntaje  $>$  o igual a 7 según la escala de Pedro. (Anexo 3).

## 8. REVISIÓN SISTEMÁTICA BIBLIOGRÁFICA

### 8.1 Resultados

En base al esquema presentado en la figura 1. De la cantidad total de 60 artículos encontrados, se incluyeron 18 artículos, los cuales cumplieron los criterios de inclusión/exclusión. Uno se obtuvo de la base de datos de google académico, dos en base a la bibliografía de papers revisados con anterioridad, y 15 fueron encontrados de la base PUBMED (Anexo 4).

- Katherine J Sullivan y cols. En el 2008 realizaron un estudio para determinar el efecto de la retroalimentación sobre la adquisición de habilidades motoras en los niños en comparación con los adultos jóvenes. Para ello utilizaron 20 adultos jóvenes (de entre 21 a 35 años) y 20 niños (de entre 8 a 14 años). La tarea motriz fue aprender un movimiento del brazo, discreto y coordinado usando una palanca con la mano dominante. El experimento se realizó en 2 días consecutivos. El día 1 (fase de adquisición), se realizaba una prueba de retención sin retroalimentación, incluyendo 10 ensayos. El día 2 (fase de retención), 20 ensayos adicionales con retroalimentación para evaluar el rendimiento de la re-adquisición. Los niños y los adultos fueron asignados a los grupos de manera aleatoria, los grupos

variaban el nivel de retroalimentación de parcial a total.

- W. Gaetz y cols. En el 2010 se realizó un estudio, para determinar la importancia funcional de la sincronización gamma relacionada con el movimiento mediante el estudio de los niños en un rango de edad relacionada al desarrollo. Para el estudio se reclutaron veinte niños sanos diestros, (10 niños entre 4 y 6 años y 10 niños entre 11 y 13 años) y 10 adultos sanos diestros. Se colocaron electrodos de electromiografía bipolar (EMG), para cada dedo índice, en el primer músculo interóseo dorsal (FDI). Se realizaron grabaciones con los participantes acostados en decúbito supino, con los ojos abiertos y fijados en una cruz proyectada en una pantalla. Se pidió a los participantes que hicieran "movimientos de tijeras que abren y cierran " usando sus dedos índice derecho o izquierdo al comienzo de un cambio de color en la cruz. Una almohadilla neumática de aire fue colocada 1 cm del dedo índice utilizada para supervisar cada abducción del dedo. Además, se controló el movimiento de la cabeza para cada registro de datos.

- Shoshi Dorfberger y cols. En el 2007 realizaron un estudio para determinar la existencia de una fase de consolidación eficaz en el aprendizaje motor, antes y después de la adolescencia. Este estudio incluyó 74 participantes, en el Experimento 1: 1º Grupo de 9 años, 2º Grupo de 12 años, 3º Grupo de 17 años. 4º Grupo de 17 años control. Participaron 54 sujetos en el Experimento 2: 5º Grupo de 9 de años, 6º Grupo de 12 años, 7º Grupo de 17 años. La tarea motora fue la oposición del dedo pulgar, de la mano no dominante, a la mayor velocidad. Se utilizaron dos secuencias de igual longitud y complejidad. Los participantes realizaron los movimientos instruidos mientras estaban en decúbito supino para permitir la grabación de todos los movimientos de los dedos. Se midieron y analizaron por separado dos variables dependientes: a) velocidad de rendimiento: número medio de secuencias correctas capturadas durante cada bloque; B) exactitud: el número medio de errores de secuenciación (orden de oposición de dedo incorrecto) durante cada bloque.

- Kathleen M. Thomas y cols. En el 2006 realizaron un estudio para comparar el aprendizaje de secuencias en adultos y niños de 7 a 11 años de edad, examinando diferencias de potencial de desarrollo en el reclutamiento de los circuitos fronto-estriado durante el aprendizaje implícito. Para ello participaron 10 adultos diestros entre 23 y 33 años y 10 niños diestros entre 7 y 11 años. Cada participante realizó cinco pruebas de 192 ensayos en una tarea visuo-motora. Los estímulos consistían en un mapa de bits, imagen de un perro presentado en uno de cuatro cuadrados azules dispuestos horizontalmente, a los participantes se les indicó que coincidieran con la ubicación del estímulo con su correspondiente clave de respuesta lo más rápidamente posible, manteniendo al mismo tiempo una alta tasa de precisión. Las respuestas se hicieron usando los dedos índice y medio de cada mano. Una secuencia de 10 pasos de ubicaciones se presentó frente a breves períodos de lugares ordenados al azar de una forma alternada.

- Bouwien C.M. y cols. En el 2006 realizaron un estudio para determinar las diferencias de desempeño en el control de los movimientos discretos y cíclicos en niños. Participaron 48 niños de 6 a 10 años. Todos usaron su mano derecha en el experimento. Los participantes se dividieron en tres grupos de 6, 8 y 10 años de edad. Los participantes realizaron las tareas recíprocas y discretas de Fitts. Se sentaron delante de un digitalizador, en el cual las tareas se presentaron en hojas de papel blanco, en cada hoja, había que dibujar tres disposiciones de dos objetivos diagonalmente opuestos, sombreados en gris, con una distancia constante de 2,5 cm. En el modo de control de puntería discreta se pidió a los participantes posicionar la punta del lápiz en el punto de inicio, dibujar con la mayor rapidez y precisión posible, comenzando con una señal acústica de inicio e invirtiendo el movimiento en la siguiente señal acústica. En el modo de control de apuntamiento cíclico, se pidió a los participantes que dibujaran con la mayor rapidez y exactitud posible hacia adelante y hacia atrás en un intervalo de 20 s que comenzaba y terminaba con una señal acústica de inicio. Cada tarea en las dos condiciones de modo de control consistió así en 20 repeticiones.

- Ericsson y cols. En el 2012 realizaron un estudio para determinar los efectos a largo plazo del aumento de clases de educación física sobre el rendimiento escolar. Participaron niños de 7 a 9 años, los cuales fueron seguidos hasta los 16 años de edad. La asignación de los grupos fue por año de nacimiento. Se evaluaron 220 alumnos; 129 alumnos pertenecían al grupo de intervención, 91 alumnos pertenecían al grupo control. La jornada escolar en el grupo de intervención se prolongó en 45 minutos y, si era necesario una lección adicional de 60 min. El grupo de control siguió las mismas materias escolares, sin las clases de educación física adicionales. Las habilidades motoras fueron evaluadas a través del método MUGI, que mide las habilidades motoras básicas y da una indicación de los alumnos que necesitan apoyo adicional en el desarrollo de habilidades motoras. En este estudio se puso a los alumnos con mayores déficits motores en el grupo de intervención y participaron en una lección extra por semana de entrenamiento motor adaptado.

- Ben Sidaway y cols. En el 2012 realizaron un estudio para examinar la relación de la frecuencia de retroalimentación y la complejidad de la tarea en la adquisición, retención y transferencia de una habilidad de lanzamiento en niños de cuarto y quinto año con desarrollo normal. Para ello se utilizaron 48 niños. La tarea requería que los niños lanzaran bolsas de tela de 100 g, con la mano dominante sobre una barrera a un objetivo invisible en el suelo a 6 m de distancia. Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a 1 de los 4 grupos. Los grupos se diferenciaron en base a la retroalimentación que se proporcionó (total o parcial) y si los niños caminaron o permanecieron de pie en el momento del tiro. Los niños completaron la retención y las pruebas de transferencia de la misma manera caminando o de pie, que practicaron durante la fase de adquisición. Todos los niños completaron todos los ensayos en las mismas condiciones.

- Michal Emanuel y cols. En el 2007 realizaron un estudio para examinar la influencia del foco de atención en el rendimiento motor de los niños comparado con los adultos. Participaron 34 niños con un promedio de edad de 8,4 a 9,8 años de edad en niños sanos, y 32 adultos divididos al azar en 2 grupos: 1° grupo de promedio edad 30,19 años (grupo enfoque interno) y un 2° grupo con un promedio de edad de 27,27 años (grupo de enfoque externo). La actividad consistió en el lanzamiento de dardos a un blanco de 1 metros de diámetro. En base a esto, se determinaron 3 fases: adquisición, retención y transferencia. Cada participante asistió durante 2 días consecutivos (todo el estudio) en el cual el primer día, se realizó la fase de adquisición, Un día después de la fase de adquisición, se llevaron a cabo tanto las fases de retención como las de transferencia.

- Shoshi Dorfberger y cols. En el 2012 realizaron un estudio en cual se pretendía ver como la consolidación de la memoria era mejor en niños de 9 a 12 años comparados con niños de 17 años, en base a secuencias de movimiento de los dedos en una secuencia de oposición del dedo-pulgar (FOS) después de una sola sesión de entrenamiento, y un intervalo de consolidación de la memoria de 48 horas, pueden ser transferidos a una disposición diferente de los componentes de los movimiento realizados. Para esto se dividieron en 3 grupos de edad: 9,12 y 17 años. Para el trabajo se utilizaron secuencias de movimiento ejecutadas por la mano entrenada no dominante, las cuales fueron posteriormente comparadas con resultados a las 48 hrs post entrenamiento. Se les pidió a los participantes que opusieran cada dedo de la mano no dominante hacia el pulgar de la misma mano lo más rápido y exacto posible, en cuya posición se encontraban en decúbito supino con la mano sobre el pecho, codo flexionado y con la vista directa frente a la palma. Luego, se procedía a la etapa con la mano no entrenada.

- Sylvain Moreno y cols. En el 2009 realizaron un estudio en base a determinar si las diferencias funcionales entre los músicos y lo que no lo eran reflejan predisposiciones específicas para la música o el resultado de la formación musical y si el entrenamiento musical mejora las funciones cerebrales no musicales con el entrenamiento. Para ello seleccionaron a 32 niños sin experiencia musical, cuya edad media fue de 10,11 años, los cuales fueron seleccionados de manera aleatoria a 2 grupos: entrenamiento musical o de pintura con un total de 7 y 6 niñas respectivamente en música y pintura. El experimento consistió en 3 fases: fase 1 (3 semanas) en el cual fueron evaluados elementos de escritura y lectura; los participantes se encontraban sentado frente a un computador y se les pedía que leyeran en voz alta con precisión y rapidez series de 24 palabras cada uno. Luego hubo una etapa de discriminación de tono con 90 melodías y 90 frases; fase 2 (24 semanas) consistió en entrenamiento de pintura o música dos veces por semana, por 75 minutos; en la fase 3 se utilizó el mismo procedimiento que en la fase 1, con evaluaciones neuropsicológicas y discriminación de tono en dos sesiones de 2 horas cada una.

- Julie Chobert y cols. En 2014 realizaron un estudio para determinar la relación en base al aprendizaje de estas habilidades, en las mejoras del habla apelando a las bases de la neuroplasticidad en niños no músicos de 8 a 10 años, asignados al azar al entrenamiento de música o al de pintura. Se utilizaron un total de 24 sujetos que en su mayoría eran niños que participaban en actividades extracurriculares, sin formación en las áreas a estudiar. Los 2 grupos quedaron conformados por 12 niños cada uno con 3 niñas en el grupo musical, y 4 niños en el grupo de pintura. Los niños se sometieron a sesiones de 45 minutos dos veces por semana durante el primer año, y luego en el segundo año solo era una vez por semana. El procedimiento consistió en sentar a los niños en una silla a 1 metros de distancia de un computador; se fue registrando un electroencefalograma mientras los niños observaban una película subtitulada, mientras se le transmitían unos sonidos por medio de unos auriculares. Luego de terminada la película, les fue realizado una serie de preguntas a los niños para asegurarse que habían prestado atención a la película, en base al distractor audible consistente en sílabas consonantes.

- Lisa M. Barnett y cols. En 2009 Realizaron un estudio en el cual se quiso ver la relación entre las habilidades motoras y la actividad física, y así demostrar la importancia del aprendizaje motor y la actividad física en los niños, lo cual repercute en la adolescencia y en la edad adulta; se seleccionó una muestra de 18 de 1045 niños en un rango de edad de 7,9 a 11,9 años, de Nueva Gales en Australia cuyo promedio de edad fue de 10,1 años. Para medir las habilidades motoras se utilizó la batería de habilidades motoras “get skilled get active”, el cual mide habilidades como captura, lanzamiento de mano, carrera, entre otros. Cada una de las habilidades fue evaluada como presente o ausente si era observado en 4 de 5 repeticiones, con una retroalimentación verbal por parte del evaluador. Posteriormente, se utilizó un cuestionario de actividad física, para medir si realizan algún tipo de actividad, frecuencia, duración.

- C. M. Capio y cols. En 2011 examinaron el desarrollo de movimientos fundamentales dominantes (FMS) en el lanzamiento de manos en los niños a través de un programa de formación reducido por error. Para ello, se trabajó con 216 estudiantes, de edades comprendidas entre 8-12 años, practicaron en un lanzamiento de mano o un programa que redujo los errores durante la práctica. Previo al estudio, se realizó una prueba de precisión de lanzamiento; posterior a eso fueron asignados al azar a dos grupos de entrenamiento. El procedimiento consistió en la integración del programa de entrenamiento a las clases de educación física, el cual se realizó en un período de 5 lecciones en 5 semanas con la aplicación de un pre-test: sesión 1 precisión, lanzamiento y forma del movimiento; lecciones de 2-4 consistente en 3 prácticas; una prueba posterior con una de transferencia; sesión 5 La integración de las pruebas y el aprendizaje en la asociación de profesores y garantizar un entorno familiar para la niños. Se pide generar lanzamiento de una pelota hacia un objetivo. Luego de todo este entrenamiento, los niños fueron sometidos a un post-test de ese mismo lanzamiento.

- Ting Liu y Jody L. Jensen en 2009, realizaron un estudio en donde se pretendía examinar si la retroalimentación sensorial auditiva era beneficiosa en los niños para aprender una tarea continua. Para ello, participaron 15 niños de 4 a 7 años y 15 adultos de 22 a 33 años. Todos los participantes se sometieron a una prueba de bicicleta estática. El estudio consistió en la clasificación de factores entre sujetos, grupos de niños o adultos y la condición a analizar sea auditiva, visual o auditiva-visual; también la fase a estudiar (base, adquisición, retención o transferencia). Todo esto medido en 4 semanas, la asignación fue al azar. Los participantes en el grupo visual, se encontraban en una bicicleta frente a un monitor de computadora, en la cual se les permitía mirar una imagen de dibujo animado elegido previamente, el cual servía de refuerzo mientras el participante pedaleaba a una velocidad que mantuviera constante el velocímetro, para poder mantener la imagen en la pantalla. En el grupo auditivo, se consideró un sonido animador escogido por el participante. El grupo audio-visual tenían ambos elementos antes mencionados. Se contabilizaron 3 ensayos a 40,80 y 120 rpm, para lo cual recibían un estímulo verbal del investigador cada vez que cumplían las revoluciones.

- Cyrille Magne y cols. En el 2006 realizaron un estudio para determinar que el entrenamiento musical facilita el procesamiento de tono no sólo en la música, sino también en el lenguaje. Para ello participaron en el estudio 26 niños (de  $8 \pm 1$  años de edad), 10 músicos y 10 no músicos. Los niños músicos tenían 4 años de formación musical en promedio. Todos los niños músicos tocaron un instrumento (violín=4, guitarra=1, flauta=1, clarinete=1, arpa=1, piano=2), estos niños tocaron música durante 3-4 horas por semana. Todos los niños no músicos también tenían actividades extracurriculares regulares (judo=1, natación=1, ciclismo=1, tenis=1, rugby=1, patinaje=1, circo=1, gimnasia=1, equitación=1, fútbol=1). En ocho bloques separados de ensayos, los niños debían escuchar atentamente, a través de auriculares y se pidió a los niños que decidieran si la última palabra o nota parecían normales o extrañas, presionando una de las dos teclas de respuesta. Grabaciones de potencial del cerebral relacionadas con la acción se registraron EEG. Para detectar parpadeos y movimientos oculares verticales, se utilizó el electrooculograma horizontal (EOG).

- Lutz Jancke y cols. En 2007 realizaron un estudio para evaluar el rendimiento de un software de aprendizaje multimedia denominado Dybuster. Para ello utilizaron 40 niños, de 9 a 11 años, y 36 controles, de 9-11 años. La batería cuantificaba los errores de escritura y de lectura. Además de las pruebas antes mencionadas, todos los niños debían escribir un dictado que contiene 100 palabras antes y después del entrenamiento (prueba de escritura de Dybuster). Cincuenta de las 100 palabras de la prueba de escritura fueron entrenadas usando el software de aprendizaje, mientras que 50 palabras no fueron entrenadas. Los sujetos disléxicos y de control fueron asignados aleatoriamente a grupos de entrenamiento. Dos grupos comenzaron inmediatamente con el entrenamiento de Dybuster. Los dos grupos restantes fueron asignados a grupos de espera que realizaron el entrenamiento de Dybuster después de un período de espera de 3 meses (disléxicos y controles sin entrenamiento en el primer período: DO y CO). Los grupos de entrenamiento practicaron durante tres meses, en promedio, cuatro veces a la semana durante 15-20 minutos al día.

- Christopher J. Steele y cols. En 2013 realizaron un estudio para encontrar una relación entre el desarrollo musical y la maduración del cuerpo calloso en niños entrenados tempranamente en la música. Para ellos los participantes eran 36 niños músicos, que fueron separados en 2 grupos: los que comenzaron su formación antes de los 7 años y los que comenzaron su formación después de los 7 años, considerando también años de experiencia, horas de práctica. Se les pidió realizar una secuencia de 10 elementos de señales visuales cortas y largas que forman una secuencia o un ritmo temporal, el cual fue evaluado en 2 días, separados en 3 bloques de 16 ensayos. Sus respuestas cortas y largas para anotar y practicó la secuencia hasta que fueron capaces de alcanzar el 80% de precisión en tres ensayos consecutivos. Una puntuación de 100% indicaba que la presión de la llave y la respuesta de liberación coincidían exactamente con el inicio Y compensación de los estímulos visuales.

- Rene Westerhausen y cols. En 2011 realizaron una investigación en base a la reorganización del cuerpo calloso y así el período crítico en 20 niños entre los 6 y 8 años, además de se examinó el desarrollo estructural en base a resonancia magnética estructural (MRI); se midió el desarrollo en base a la audición, en el cual se le presentaban 2 sílabas consonante-vocal en presentación simultánea; todas las sílabas fueron habladas por un adulto noruego con voz, intensidad y entonación constante. En total pares de 30 sílabas en un intervalo de 4000 ms.

## **9. DISCUSION Y CONCLUSION.**

### **9.1 DISCUSIÓN.**

En los últimos años ha sido bastante discutible tanto para la ciencia como para los investigadores la existencia de una segunda ventana crítica presente en los niños, posterior al período conocido hasta los tres primeros años o que simplemente este desarrollo sea producto de un modelo de experiencia posterior al nacimiento. En la presente revisión por tanto, se buscó un segundo periodo crítico en la neuroplasticidad de los niños, que lo predispone a la adquisición de nuevos aprendizajes, ya sea en lo motor o en habilidades como la escritura y el habla.

Para la discusión se separan los estudios por temas comunes:

- Comparación entre el aprendizaje en niños con adultos o adolescentes.
  
- Participación de niños igual o mayor a 6 años.

- Edad considerada para el aprendizaje motor.
- Neuroplasticidad relacionado con el aprendizaje asociado a la música.
- Existencia de un periodo crítico o sensible de neuroplasticidad diferente al conocido.

### **Comparación entre el aprendizaje en niños con adultos o adolescentes.**

Analizado los resultados, se incluyeron 9 estudios, los cuales concluyeron que los niños utilizan diferentes estrategias en comparación con los adultos para procesar información propioceptiva para la planificación y ejecución de movimientos, lo que resulta en un rendimiento motor más eficiente en niños. Hay una mejora en la capacidad de integrar visual y propioceptivamente las entradas aferentes con la edad, lo que resulta en un rendimiento motor más eficiente.

Las diferencias en los resultados proporcionan evidencia que las redes corticales motoras obedecen a una evolución en el tiempo y desarrollo entre niños y adultos. Lo que se explica en las dificultades de desarrollo, los cuales gobiernan su aprendizaje, y por lo tanto ayudar a predecir y posiblemente mejorar la recuperación de la función motora frente al aprendizaje y después de una injuria cerebral (Subhash, 1997), recuperándose a modo de remodelación

sináptica a menor edad (Gao y cols., 2016).

Tanto en niños como en adolescentes, el entrenamiento de movimientos resultó en aumentos significativos de la experiencia. Se trata de una primera demostración de mejoría en niños, lo que indicaría la existencia de una fase de consolidación efectiva en la memoria motora antes del inicio de la adolescencia. Los resultados indican una divergencia dependiente de la edad en el aprendizaje motor humano; niños de 9 y 12 años de edad, mostraron grandes ganancias en el rendimiento incluso dada una experiencia de interferencia posterior, no así los de 17 años. La consolidación de la memoria motora, en los niños de 9 y 12 años, fue significativamente menos susceptible a la interferencia por una experiencia de entrenamiento posterior en comparación con los grupos de edad más avanzada, el cual puede ser sustituido o modificado por otro más selectivo después de la pubertad. Finalmente se concluye que en los niños, el rendimiento motor sigue mejorando en el intervalo post-entrenamiento, lo que indica la existencia de una fase de consolidación de la memoria, que sería similar a la descrita en adultos (Dorfberger y cols., 2007). En este período de edad existirían mejores consolidaciones e integraciones en procesos cognitivos complejos en los niños (Pinto, 2010), los que serían la base neuroplástica de las funciones cognitivas y del aprendizaje (Wilson, 2010).

Otro fundamento es la base neurofisiológica, lo que muestra en adultos una mayor actividad en las zonas de la corteza, mientras que en los niños se

observa una mayor actividad en el putamen bilateral; por otra parte, los niños reclutan patrones subcorticales para estas tareas motoras, mientras que en los adultos se observa un mayor reclutamiento de zonas corticales. Esto último se contrasta con los resultados de otro estudio, en el cual se obtuvo que los grupos de adultos con una mejor experiencia en lo motor tenían movimientos más automatizados, mientras que en los niños se generaba una similitud en torno a los adultos en cuanto podían aprender el movimiento y no automatizarlo (Michal Emanuel y cols., 2007).

Los niños y niñas se acostumbraron primero a un simulador de resonancia magnética en comparación a los adultos, los cuales mostraron mayor reclutamiento de las estructuras subcorticales durante esta tarea. Los adultos mostraron una mayor activación del hipocampo durante los ensayos, mientras que los niños mostraron el patrón inverso. Los niños mostraron mayor actividad del hipocampo en relación a los adultos durante la ejecución de una nueva asignación de estímulo-respuesta (Thomas y cols., 2006). Esto permitiría una reparación de los circuitos cerebrales en los niños, que conduciría a una integración de nuevas áreas de adaptación dependientes de la edad (Subhash, 1997).

Otros resultados, sugieren que la actividad física estaría asociada con logros (e incrementa el conocimiento) infiriendo que no sólo existe una asociación, sino que en realidad una estrategia de intervención basada en la población con

mayor actividad física y capacitación motora, la que podría mejorar el rendimiento escolar (I. Ericsson y cols. ,2012). Los resultados para los grupos de adultos coinciden con los de estudios previos (es decir, el aprendizaje motor y el desempeño pueden ser mejorados al dirigir la atención, en donde los adultos que están aprendiendo o re- aprendiendo un movimiento en la clínica, el terapeuta debe usar instrucciones sobre el enfoque externo de la atención para mejorar la ejecución del movimiento. Sólo en la fase de transferencia fue una ventaja de utilizar un enfoque interno de atención. Se necesitan estudios a diferentes edades, con diferentes tareas y diferentes métodos de transmitir las instrucciones que puedan ser apropiadas para el desarrollo de los niños (Michal Emanuel y cols., 2007).

Se encontraron mejores resultados de movimiento en la mano no dominante entrenada en comparación con la mano diestra en cuanto a la velocidad, como en exactitud en niños y adultos, lo que muestra un claro aprendizaje post entrenamiento relacionado al proceso de transferencia en niños, lo que mostrarían que es poco probable que los niños antes de la adolescencia sigan representando la secuencia de movimientos individuales en lugar de un conjunto ordenado en un movimiento específico. Una sola sesión de entrenamiento de movimiento fue suficiente para generar una representación en una serie de movimientos en todos los grupos de edad estudiados, generando así en niños antes de la adolescencia una menor transferencia en comparación

con los adultos. Esto apoyaría la idea que estas diferencias de rendimiento al final de la sesión en comparación con el inicio de una capacitación pueden complicar aún más la comparación de los procesos de consolidación y retención entre los grupos de edad, dándole una sustantiva ventaja a los niños frente a los adultos (Dorfberger y cols., 2012). Todas estas habilidades adquiridas en la niñez resultaron en una mejora en la adultez. Los niveles físicos también disminuirían generalmente durante la adolescencia (Julius and Adi-Japha, 2015). Por otra parte, no se observaron diferencias significativas de rendimiento en adultos, lo que podría tener de explicación que los adultos están en sus límites de rendimiento con poca o ninguna base para mejorar incluso con suficiente cantidad de práctica. Sin embargo, los niños están en su máximo desarrollo con gran espacio para la mejora significativa después de una cierta cantidad de formación. Así, se concluye que en la condición auditiva es más eficaz para los niños aprendiendo una tarea continua: la retroalimentación sensorial auditiva fue más efectiva que la retroalimentación visual y auditiva + visual para los niños. Por lo tanto, es beneficioso para los estudiantes jóvenes utilizar información sensorial auditiva para el aprendizaje en una tarea motora en las primeras etapas de adquisición de habilidades (Barnett y cols., 2009), lo cual pudiese refutar la idea que en los niños existe un desarrollo tardío del lóbulo frontal y el cuerpo caloso, y si apoyaría que son zonas más modificables con la práctica (Gardner, 1995). Estas diferencias de rendimiento observadas en función

de la edad podrían ser el resultado de diferencias en uno o más procesamiento de estrategias. Estos hallazgos destacan la importancia de la sensibilidad auditiva de los niños durante la adquisición del desempeño motor, pero no aclaran el proceso como tal para poder tener un mejor referente frente a niños de otras edades (Ting Liu y Jensen, 2009).

Si bien estos estudios proporcionan evidencia de la diferencia entre niños y adultos, presentándose en varios de ellos resultados significativos, no existen estudios que muestren resultados a largo plazo de las intervenciones realizadas en los niños, lo cual demostraría con mayor precisión el desarrollo neuroplástico post entrenamiento, mejorando así habilidades básicas.

### **Participación de niños igual o mayor a 6 años**

En general, todos los estudios escogidos fueron coincidentes en trabajar con una muestra de niños mayores a 6 años o niños entre segundo o tercer grado. El argumento principal es la facilidad de aprendizaje vistos a esta edad, asociado principalmente a una máxima flexibilidad en el periodo neuroplástico (Gardner,1995). En base a lo anterior, solo 4 artículos argumentaron que pudiese ser en base a la existencia de un segundo período de neuroplasticidad en los niños.

Esto basado en que efectivamente existiría una nueva ventana de aprendizaje,

en el cual no se aclaraba las razones de forma explícita dentro de los autores, teniendo como base en sus estudios la neurofisiología de un periodo similar al visto a los 2 años (Gao y cols., 2016) o a los 5 años (Vargas, 2008).

### **Edad considerada para el aprendizaje motor**

En base a esta temática, solo 10 estudios consideraron dentro de sus trabajos edades específicas para el aprendizaje motor como segunda ventana neuroplástica. Se concluye que los niños utilizan diferentes estrategias teniendo un rendimiento motor más eficiente en niños, específicamente entre 8 a 14 años; desarrollan la capacidad de programar la fase balística, además de una mejora en la capacidad visual y propioceptivamente las entradas aferentes con la edad, lo que resulta en un rendimiento motor más eficiente en niños de este rango de edad. Por otro lado, al comparar los niños de 8 y 9 años de edad y los niños de 13 y 14 años de edad se puso de manifiesto que los niños mayores tenían menos errores durante la adquisición y las pruebas de retención que los niños más pequeños (Sullivan y cols., 2008). Se sugieren que la movilidad de cabeza en niños tenía tiempos más largos que en los adultos y la movilidad de los dedos presentó mayores tiempos en el rango de 4 a 6 años (Gaetz y cols., 2010).

Tanto los niños de 9 y 12 años de edad, mostraron grandes ganancias en el

rendimiento de la secuencia inicialmente entrenada, incluso dada una experiencia de interferencia posterior, no así los de 17 años. La consolidación de la memoria motora, en los niños de 9 y 12 años, fue significativamente menos susceptible a la interferencia por una experiencia de entrenamiento posterior. Los resultados actuales plantean la posibilidad de que un proceso de consolidación de memoria menos selectiva, presente en niños de 9 y 12 años, pudiese ser sustituido o modificado por otro más selectivo después de la pubertad (Dorfberger y cols., 2007).

Se identificó que en este rango de 7 a 11 años los niños reclutan un patrón predominantemente subcortical para esta tarea motora (Thomas y cols., 2006)

Se ha estudiado el desarrollo del desempeño motor, definiendo cuatro determinantes: mayor velocidad, mayor precisión, menor procesamiento de la información durante la planificación del movimiento y ejecución más fluida del movimiento en niños de 6 a 10 años. Sin embargo, no deja en claro si el desarrollo tanto del tracto corticoespinal como del cerebelo no está terminado en la edad evaluada en este estudio. Para identificar la meseta en desarrollo, los grupos de niños mayores tendrían que ser estudiados (Smits-Engelsman y cols., 2006).

Las puntuaciones obtenidas en los niños evaluados fueron mayores en el grupo de intervención de 9 años. Además en niños de esta edad, los resultados

obtenidos fueron más altos que en niños de cursos inferiores. Los resultados apoyarían estudios que sugieren que la actividad física está asociada con estos logros (I. Ericsson y cols., 2012).

Por otra parte, la formación musical mejoró las habilidades de lectura, la cual está en concordancia con los resultados de un estudio a gran escala de niños de 4 y 5 años que muestran que la capacidad de la percepción de la música es una evidencia que muestra una influencia positiva del entrenamiento de la música en habilidades de lectura y de escritura, en este caso, en niños de 8 años (Sylvain Moreno y cols., 2009), lo que iría a afirmar que en este período existen las condiciones apropiadas, en la cual se pudiesen obtener mejores resultados en el desarrollo del SNC (Gardner, 1995).

Esto muestra bases para poder determinar cambios a nivel cerebral en torno a los nuevos aprendizajes, que pudiesen ser la base por ejemplo para adquirir nuevas habilidades como aprender un idioma, habilidades que irían disminuyendo generalmente durante la adolescencia disminución más marcada que se produce entre las edades de 13 y 18 años (Lisa M. Barnett y cols. 2009). En base a esto, todas estas edades mostrarían resultados en cuanto a los estudios realizados en torno al aprendizaje motor, por lo que se sugiere tomar en consideración todo lo expuesto y profundizar en estudios que muestren mayor exactitud en los cambios presentes en edades específicas.

## **Neuroplasticidad relacionada con el aprendizaje asociado a la música.**

Para esto, se incluyeron 4 artículos. Se estudió el entrenamiento musical, la cual mejoró las habilidades de lectura y discriminación del tono, teniendo como principal influyente el entrenamiento musical. Los resultados mostraron que la formación de niños de 8 años con música mejoró las habilidades de lectura específicamente cuando la correspondencia de un fonema a grafema era compleja. Por otra parte, la conclusión de que la formación musical mejoró las habilidades de lectura y escritura muestra una influencia positiva del entrenamiento de la música en niños de 8 años. Esto muestra bases para poder determinar cambios a nivel cerebral en base a los nuevos aprendizajes, que pudiesen ser la base por ejemplo para adquirir nuevas habilidades (Moreno y cols, 2009), basándose en que la estructura nerviosa es flexible, dinámica y adaptable (Raisman, 1973), lo que facilitaría este nuevo aprendizaje.

Existieron diferencias significativas después de 12 meses de entrenamiento musical, más no mejoras en el entrenamiento con la pintura, generando así mejoras significativas en aquellos que fueron entrenados, lo que explicaría un desarrollo mayor asociado a la maduración en los niños. Esto implicaría una estrecha relación con la neuroplasticidad en el cerebro de los niños, al observar

estas mejoras en niños entrenados en el estudio. Esto podría asociarse a mejoras en el entrenamiento del habla, especialmente ante alteraciones como la dislexia (Julie Chobert y cols., 2014).

Se encontró evidencia de un mecanismo de procesamiento de tono común en el lenguaje y la percepción musical. Por otra parte, al mostrar diferencias entre niños músicos y no músicos, se pudo descubrir algunos de los procesos neurofisiológicos que pueden ser la base de los efectos positivos de transferencia entre la música y el lenguaje. En los niños músicos se refleja una mayor sensibilidad al procesamiento del tono, y esto se reflejaba en la mayor positividad tardía a las incongruencias débiles de palabras congruentes en el lenguaje que no se encontró en los niños no músicos. Aunque estos hallazgos pueden reflejar la facilitación debido a la formación musical, de los procesos de detección de desajuste de tono de dominio común para la música y el lenguaje, se necesitan nuevos experimentos para especificar las relaciones entre los componentes positivos negativos y tardíos, por qué los componentes negativos tempranos fueron provocado por incongruencias en los niños músicos y no musicales en la música pero no en el lenguaje. Los resultados ponen de relieve los efectos positivos de las lecciones de música para las habilidades lingüísticas en los niños (Cyrille Magne y cols., 2006) y reafirman la importancia de aprendizajes como la música en el mejoramiento del desarrollo de las habilidades motoras primarias (Carrasco y Carrasco, 2006).

Se analizaron grupos en el cual se identificaron regiones de materia blanca que pudieran diferir entre grupos de músicos que coinciden con años de formación y experiencia, en comparación con no músicos. Este contraste categórico recoge las diferencias de grupo. Se observó un crecimiento en el istmo del cuerpo calloso, fibras que interconectan ambos hemisferios, además de cambios en la estructura y la función a lo largo del tiempo en este mismo lugar (Westerhausen y cols., 2011). Esto refutaría la idea que a menos estimulación temprana en los niños, en cuanto al aprendizaje de una habilidad, como en este caso la música, impediría un desarrollo normal posterior al período crítico (Conel, 1959).

Si bien todos estos fueron resultados concluyentes para nuevas habilidades derivadas del entrenamiento musical post entrenamiento y a largo plazo, no existe una comparación con algún otro tipo de actividad no artística, como por ejemplo con alguna actividad deportiva que pudiese generar mejoras en estos ámbitos.

### **Existencia de un periodo crítico o sensible de neuroplasticidad diferente al conocido.**

De los 18 artículos seleccionados, solo 5 consideran que existe un segundo periodo para la neuroplasticidad. En los últimos 10 años, la evidencia transversal ha crecido en cuanto a la importancia de la habilidad motriz fundamental en la participación en la actividad física. Los modelos de desarrollo

motor proponen niveles a través de los cuales el niño debe progresar para alcanzar la habilidad motora (Barnett et al., 2009).

Se demostró cómo el entrenamiento musical mejora las habilidades de lectura y discriminación del tono, mejorando las habilidades de lectura, lo que muestra las bases para poder determinar cambios a nivel cerebral en relación a los nuevos aprendizajes, que pudiesen ser el inicio para adquirir nuevas habilidades asociado a este período crítico. El entrenamiento en actividades como la pintura, genera mejoras en aquellos que fueron entrenados, lo que explicaría un desarrollo mayor asociado a la maduración en los niños. Esto implicaría una estrecha relación con la neuroplasticidad cerebral infantil, al observar estas mejoras en niños entrenados en el estudio (Chobert y cols., 2014).

El entrenamiento musical temprano tiene un impacto en la estructura de la materia blanca y sensoriomotora, proporcionando pruebas de un período sensible donde la experiencia produce cambios duraderos en el cerebro y el comportamiento, cuya región experimenta importantes cambios en su desarrollo entre los 6 y 8 años (Steele y cols.,2013). Sin embargo, los procesos subyacentes a la aparición de estas positividadas tardías parecen estar presentes ya a los 8 años en la música y el lenguaje (Magne, Schon, and Besson, 2006).

Por otro lado, los niños de 7 a 9 años de edad pueden aprender a mantener una

actividad además de realizar simultáneamente otros movimientos. Estas observaciones sugieren importantes progresos en algunas funciones distintas, algunas de las cuales están relacionadas con la experiencia, en los niños de entre 9 y 12 años (Sefeldt, Vern, Ed, 1986).

También demuestra que la formación antes de los 7 años de edad resulta en cambios en la conectividad de la materia blanca que pueden servir como un andamio sobre el cual la experiencia continúa puede ser construido (Steele, Bailey, Zatorre y Penhune, 2013). Podría aseverarse, que son efectivas las ventanas de tiempo existentes cuando los circuitos cerebrales que sirven para una función dada son receptivos a la adquisición de ciertos tipos de información o incluso necesitan una señal instructiva para su desarrollo normal continuado (Takao K. Hensch, 2004).

Finalmente, se puede añadir que varios resultados vistos en la revisión sistemática afirman la existencia de variaciones a nivel cerebral, principalmente corticales (Hernández-Muela, 2004) que pudiese explicar cambios en las habilidades adquiridas en los niños, además de proponer en base a sus resultados, los cambios neuroplásticos que pudiesen interferir directamente en mejoras no solo en el aprendizaje motor, sino que también en mejoras sustanciales de habilidades más cotidianas como la escritura; se dan las primeras aproximaciones de nuevas edades que puedan tener mayores peak

para estos cambios.

Las limitaciones temáticas y metodológicas encontradas fueron la poca disponibilidad de estudios, en los cuales se abordaran los períodos neuroplásticos en los niños, además de criterios metodológicos con bajos valores en la calidad de los artículos, por lo cual se obtuvo una baja muestra de artículos contenidos en esta revisión sistemática.

Se sugiere, la realización de posteriores investigaciones experimentales que cuenten con la participación de niños, donde se pueda abordar de manera más exacta estas limitaciones, además de estudios que puedan realizar seguimientos a largo plazo de sus participantes, para afirmar con exactitud las variaciones producto de la neuroplasticidad en niños, además de considerar en los estudios nuevas habilidades adquiridas producto de este desarrollo cerebral, cambios que sería bueno conocer con mayor precisión.

## 9.2 CONCLUSIÓN

Se concluye de esta revisión, que existe un segundo periodo crítico neuroplástico, en el cual los niños presentan una mayor habilidad para adquirir nuevos aprendizajes.

En cuanto a la edad que produciría mejores cambios neuroplásticos en el aprendizaje, existen dicotomías en cuanto a la afirmación que el rendimiento motor más eficiente en niños se encuentra en un período etéreo definido, en donde si se podría asegurar la existencia de una fase de consolidación efectiva en la memoria motora antes del inicio de la adolescencia, con mayores posibilidades de cambios alrededor de los 9 años. Se concluye, que la ventana de oportunidad neuroplástica se encontraría alrededor de los 9 años, siendo esta edad muy importante en relación con el aprendizaje motor en niños y en la adquisición de nuevas habilidades a futuro. Sin embargo, todos los artículos revisados analizan niños de otros países, por lo cual se hace necesaria la realización de mayores estudios, y de análisis con niños chilenos, para saber la realidad a nivel país, y así conocer la edad indicada para la

realización de intervenciones, y así generar mayores cambios a nivel motor en los niños.

## 10. REFERENCIAS

Alexander GE, DeLong MR, Strick PL. (1986). Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex. *Annu Rev Neurosci*; 9:357-81.

Barnett LM1, van Beurden E, Morgan PJ, Brooks LO, Beard JR.. (2009). Childhood Motor Skill Proficiency as a Predictor of Adolescent Physical Activity. *J Adolesc Health*, 44, 252-9. Doi: 10.1016/j.jadohealth.2008.07.004.

Bliss TV, Lømo T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *J Physiol*; 232:331-56.

Broca, MP. (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphemie (Perte de la Parole). *Bulletin de la Société Anatomique Paris*; 6:330–357.

Capio CM, Poolton JM, Sit CH, Holmstrom M, Masters RS. (2011). Reducing errors benefits the field-based learning of a fundamental movement skill in children.. *Scand J Med Sci Sports.*, 23, 181-8. Doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01368.x.

Cheron G, Servais L, Dan B. (2008). Cerebellar network plasticity: from genes to fast oscillation. *Neuroscience*; 53:1-9.

Chobert J, François C, Velay JL, Besson M. (2014). Twelve Months of Active Musical Training in 8- to 10-Year-Old Children Enhances the Preattentive

Processing of Syllabic Duration and Voice Onset Time . Cereb Cortex, 24, 956-67.

Conforto AB, Cohen LG, dos Santos RL, Scaff M, Marie SK. (2007). Effects of somatosensory stimulation on motor function in chronic cortico-subcortical strokes. J Neurol; 254 (3):333-339.

Curley J.P, F.A. Champagne. (2015). Influence of Maternal Care on the Developing Brain: Mechanisms, Temporal Dynamics and Sensitive Periods, Frontiers in Neuroendocrinology.

David Gaul, Johann Issartel. (2016). Fine motor skill proficiency in typically developing children: On or off the maturation track?. Human Movement Science, 46, 78-85.

Delia Fuhrmann,<sup>1,\*</sup> Lisa J. Knoll,<sup>1</sup> and Sarah-Jayne Blakemore. (2015). Adolescence as a Sensitive Period of Brain Development. Trends in Cognitive Sciences, 19, 558-566.

Dimas Carrasco, David Carrasco. (2006). Desarrollo motor. 2016, de Instituto nacional de educación física, Universidad de Madrid.

Dombovy ML. (2011). Introduction: the evolving field of neurorehabilitation. Continuum lifelong learning. Neurol. 2011; 17 (3):443-448.

Dorfberger S, Adi-Japha E, Karni A (2007) Reduced Susceptibility to Interference in the Consolidation of Motor Memory before Adolescence. PLoS ONE 2(2): e240. doi:10.1371/journal.pone.0000240

Dorfberger S, Adi-Japha E, Karni A (2012) Sequence Specific Motor Performance Gains after Memory Consolidation in Children and Adolescents. Doi: 10.1371/journal.pone.0028673.

Dra. María de los Ángeles Avaria. (2005). Aspectos biológicos del desarrollo psicomotor. *Rev. Ped. Elec.*, 2, 36-46.

Duffau H. (2006). Brain plasticity: from pathophysiological mechanisms to therapeutic applications. *J Clin Neurosci.*; 13 (9):885-97.

Edward G. Jones. (2004). Plasticity and neuroplasticity. *J History Neuroscience*; 13(3):293.

Emanuel M, Jarus T, Bart O.. (2008). Effect of focus of attention and age on motor acquisition, retention, and transfer: a randomized trial. *Phys Ther.*, 88, 251-60. Doi: 10.2522 / ptj.20060174.

Ericsson I, Karlsson MK.. (2014). Motor skills and school performance in children with daily physical education in school – a 9-year intervention study. *Scand J Med Sci Sports*, 24, 273-8. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01458.x.

Espósito MS, Piatti VC, Laplagne DA, Morgenstern NA, Ferrari CC, Pitossi FJ, et al. (2005). Neuronal differentiation in the adult hippocampus recapitulates embryonic development. *J Neurosci*; 25:10074-86.

Fawcett J. (2009). Molecular control of brain plasticity and repair. *Prog Brain Res.*; 175:501-509.

Floel A, Cohen LG. (2006). Translational studies in neurorehabilitation: from bench to bedside. *Cogn Behav Neurol.*; 19 (1):1-10.

Fundamentos del neurodesarrollo Dr. Fernando Pinto Pediatra-Neurólogo Infantil Chile, 2010.

Gaetz W1, Macdonald M, Cheyne D, Snead OC.. (2010). Neuromagnetic imaging of movement-related cortical oscillations in children and adults: age predicts post-movement beta rebound.. *Neuroimage*, 51, 792-807.

G. Chéron. (2011). Neurofisiología del movimiento. Aprendizaje motor. 2016, de Kinesiterapia - Medicina física.

Garcés-Vieira MV, Suárez-Escudero JC. (2014). Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *Rev CES Med*; 28(1): 119-132.

Giovanni Berlucchi. (2002). The origin of the term plasticity in the neurosciences: Ernesto Lugaro and chemical synaptic transmission. *J Histor Neuroscien.*; 11(3):305-309.

Gustavo Suarez, Gloria Hoyo, José Echeverri, Juan Jiménez, William Ramírez. (2013). Aprendizaje motor, precisión y toma de decisiones en el deporte. Universidad de Antioquia: Funámbulos.

Hebb D. (1947). The effect of early experience on problem solving at maturity. *Am Psychol*. 1947; 2:737-745.

Hernández-Muela S., Mulas F., Mattos L. (2004). Plasticidad neuronal funcional. 2016, de Instituto Valenciano de Neurología Pediátrica, Revista de neurología.

Hotz, A., Weineck, J.: Optimales Bewegungslernen, Erlangen, 1983, 1988.

Ismail FY, Fatemi SA, Johnston MV, Cerebral Plasticity: Windows of opportunity in the developing brain, *European Journal of Paediatric Neurology* (2016), doi: 10.1016/j.ejpn.2016.07.007.

Ito M. The molecular organization of cerebellar long-term depression. *Nat Rev Neurosci* 2002;3:896-902.

Jones TA, Alled RP, Adkins DL, Hsu JE, O Bryant A. Remodeling the brain with behavioral experience after stroke. *Stroke*. 2009; 40 (3Suppl): S136-138.

Kaas JH, Merzenich MM, Killackey HP. The reorganization of somatosensory cortex following peripheral nerve damage in adult and developing mammals. *Annu Rev Neurosci*.1983; 6:325–356.

Kandel ER. (2001). The molecular biology of memory storage: a dialogue between genes and synapses. *Science* 2001;294:1030-8.

Kennard MA. (1936). Age and other factors in motor recovery from precentral lesions in monkeys. *American Journal of Physiology*.;115:138–146.

Kennard Dennis M. Margaret. (2010). Not a 'principle' of brain plasticity but a founding mother of developmental neuropsychology. *Cortex*.; 46 (8):1043-59.

Levi-Montalcini R, Angeletti PU. (1968). Nerve growth factor. *Physiol Rev*.; 48:534-569.

Liu T, Jensen JL.. (2009). Effectiveness of auditory and visual sensory feedback for children when learning a continuous motor task.. *Percept Mot Skills*., 109, 804-16. Doi: 10.2466/PMS.109.3.804-816.

Lutz Jancke, Martin Meyera, Monika Kastc, Christian Vogeli " c and Markus Gross. (2007). Computer-based multisensory learning in children with developmental dyslexia. *Restor Neurol Neurosci*., 25, 355-69.

Magne C, Schön D, Besson M.. (2006). Musician Children Detect Pitch Violations in Both Music and Language Better than Nonmusician Children: Behavioral and Electrophysiological Approaches. . *J Cogn Neurosci.*, 18, 199-211. Doi: 10.1162/089892906775783660.

Mazzarello P. Camillo Golgi's. (1999). Scientific biography. *J Hist Neurosci.*; 8(2):121-31.

Merzenich, M, Nelson RJ, Stryker MP, Cynader MS, Schoppmann A. (1984). Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys. *J Comp Neurol.* 1984; 224:591–605.

Mona S. Julius and Esther Adi-Japha. (2015). Learning of a simple graphomotor task by young children and adults: similar acquisition but age-dependent retention. *Frontiers in Psychology*, 6, 1-11.

Moreno S., Marques C., Santos A., Santos M., Castro S .L and Besson M. (2009). Musical Training Influences Linguistic Abilities in 8-Year-Old Children: More Evidence for Brain Plasticity . *Cereb. Cortex*, 19, 712-723. Doi: 10.1093/cercor/bhn120.

Nowak L, Bregestovski P, Ascher P, Herbet A. Prochiantz A. (1984). Magnesium gates glutamate-activated channels in mouse central neurones. *Nature*;307:462-5.

Montalcini y Angeletti. (1968). Nerve Growth Factor . *Pathological Reviews*, 48, 534-569.

Oña, A. (1994). *Comportamiento Motor: Bases Psicológicas del Movimiento Humano*. Granada. Universidad de Granada.

Oña, A.; Martínez, M.; Moreno, F.L y Ruiz, L.M. (1999). Control y Aprendizaje Motor. Madrid. Síntesis, S.A.

Phillips S, Wilson WH. (2010). Categorical compositionality: a category theory explanation for the systematicity of human cognition. PLoS Comput Biol.; 6 (7).

Piaget, J. (1971). *Psicología y Pedagogía*. Ed. Ariel. Barcelona. p. 38.

Raisman G, Field PM. (1973). A quantitative investigation of the development of collateral reinnervation after partial deafferentation of the septal nuclei. Brain Res.; 50:241-264.

Ramón y Cajal, S. (1888). Estructura de los centros nerviosos de las aves. Rev. Trim. Histol. Norm. Pat., 1: 1-10.

Riveros A. (2005). Registros in vivo de la facilitación por pulsos pareados y la potenciación a largo plazo. 2016, de Universidad militar Nueva Granada.

Ruiz Pérez, L. M. (1995) *Competencia motriz: elementos para comprender el aprendizaje motor en Educación Física escolar*. Gymnos. Madrid.

Ruiz Pérez, L.M. (1987) *Desarrollo motor y actividades físicas*. Gymnos. Madrid.

Sale A., Berardi N., and Maffei L. (2014). Environment and brain plasticity: Towards and endogenous Pharmacotherapy. American Physiological Society, 94, 189–234.

Sidaway B, Bates J, Occhiogrosso B, Schlagenhauer J, Wilkes D.. (2012). Interaction of feedback frequency and task difficulty in children's motor skill

learning. *Phys Ther.* 92(7):948-57. doi: 10.2522/ptj.20110378.

Smits-Engelsman BC1, Sugden D, Duysens J.. (2006). Developmental trends in speed accuracy trade-off in 6–10-year-old children performing rapid reciprocal and discrete aiming movements. *Hum Mov Sci.*, 25, 37-49. Doi: 10.1016/j.humov.2005.12.002.

Steele C, Bailey J, Zatorre R and Penhune V. (2013). Early Musical Training and White-Matter Plasticity in the Corpus Callosum: Evidence for a Sensitive Period. *Journal of Neuroscience*, 33, 1282-1290. Doi: 10.1523/JNEUROSCI.3578-12.2013

Stein DG. (2007). Concepts of CNS plasticity and their implications for understanding recovery after brain damage. *Demos Medical Publishing.*:97-108.

Suárez, Hoyos Rodríguez, Jiménez Trujillo, Echeverri Ramos, Ramírez Silva. (2013). *Aprendizaje motor, precisión y toma de decisiones en el deporte.* Colombia: Funámbulos Editores.

Subhash CB, Orlando JA. (1997). *Neurociencia para el estudio de las alteraciones de la comunicación.* Barcelona: Masson; .

Sullivan Katherine J., Shailesh S Kantak, Patricia A Burtner. (2008). Motor Learning in Children: Feedback Effects on Skill Acquisition. *Physical therapy*, 88, 720-32. Doi: 10.2522/ptj.20070196

Takao K. Hensch. (2004). Critical period regulation. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 549-79.

Tashiro A, Sandler VM, Toni N, Zhao C, Gage FH. (2006). NMDA- receptor-mediated, cell-specific integration of new neurons in adult dentate gyrus.

*Nature* 2006;442:929-33.

Thomas KM, Hunt RH, Vizueta N, Sommer T, Durston S, Yang Y, Worden MS.. (2006). Evidence of Developmental Differences in Implicit Sequence Learning: An fMRI Study of Children and Adults. *J Cogn Neurosci*, 16, 1339-1351.

Vargas N. (2008). Rol del pediatra en el neurodesarrollo *Rev Chil Pediatr*; 79 Supl (1): 21-25.

VernSefeldt. (1986). *PhysicalActivity& Wel-being*. Virginia: AnAsociationofthe AmericanAlianceforHealth, PhysicalEducWon,Recreation, and Dance.

Voogd J, Ruigrok TJ. (2004).The organization of the corticonuclear and olivocerebellar climbing fiber projections to the rat cerebellar vermis: the congruence of projection zones and the zebrin pattern. *J Neurocytol*;33:5-21.

Wall PD, Egger MD. (1971). Formation of new connections in adult rat brains following partial deafferentation. *Nature.*; 232:542–545.

Wei Gao, Weili Lin, Karen Grewen, and John H. Gilmore. (2016). Functional Connectivity of the Infant Human Brain: Plastic and Modifiable. *Neuroscientist*, 1-16.

Westerhausen R1, Luders E, Specht K, Ofte SH, Toga AW, Thompson PM, Helland T, Hugdahl K.. (2011). Structural and Functional Reorganization of the Corpus Callosum between the Age of 6 and 8 Years. *Cereb Cortex.*, 21, 1012-7. Doi: 10.1093/cercor/bhq165.

Yurelis Ginarte Arias. (2007). La neuroplasticidad como base biológica de la rehabilitación cognitiva.. 2016, de Centro de Investigaciones sobre

Envejecimiento, Longevidad y Salud (CITED).

Páginas web:

Dimas Carrasco Bellido, David Carrasco Bellido. (2014). Desarrollo Motor. 3, 2017, de Universidad Politécnica de Madrid Sitio web: <http://futbolcarrasco.com/wp-content/uploads/2014/08/futbolcarrascoinef2curso7.pdf>

Ruiz Pérez, L.M. (1987) Desarrollo motor y actividades físicas. Gymnos. Madrid.

Vanessa Cidoncha Falcón, Erika Díaz Rivero. (2010). Aprendizaje motor. Las habilidades motrices básicas: coordinación y equilibrio. 4 de Enero, 2017, de efdeportes Sitio web: <http://www.efdeportes.com/efd147/habilidades-motrices-basicas-coordinacion-y-equilibrio.htm>

## 11. ANEXOS

### Anexo 1: Ficha bibliográfica revisión sistemática

TITULO Y AUTOR (ES):		
Revisión	En abstract	En texto completo
<u>Referencia bibliográfica completa y Ubicación.</u>  <u>Base, Sitio web</u> y fecha de ultimo acceso		
<u>Objetivo general</u>		
<u>Método:</u> Enfoque, diseño País-lugar, población Tipo-tamaño muestra Técnica recolección de datos, análisis		
<u>VARIABLES</u> (dimensiones e indicadores).  <u>Covariables</u>		
<u>Contenido de interés y Resultados principales</u>		
<u>Conclusión principal</u>		
<u>Observaciones</u>		
<u>Solicitud de texto completo</u>	SI	NO

## Anexo 2: Calidad metodológica de los artículos

Artículos	Criterios de Escala PEDro											Puntaje
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Katherine J Sullivan, 2008	X	X	0	X	0	0	0	X	X	X	X	7
W.Gaetz, 2010	X	0	X	X	X	0	0	X	X	X	X	8
S. Dorfberger, 2007	X	X	X	X	0	0	0	0	X	X	X	7
Kathleen M. Thomas, 2006	X	X	X	X	0	0	0	X	X	X	X	7
Bouwien C.M. Smits-Engelsman, 2006	X	X	0	X	X	0	0	X	X	X	X	8
I. Ericsson1, 2012	X	X	X	X	0	0	0	X	X	X	X	8
Ben Sidaway, 2012	X	X	0	X	0	0	0	X	X	X	X	7
Emanuel M. Jarus, 2008	X	X	X	X	0	0	0	X	X	X	X	8
S. Dorfberger, 2012	X	X	X	X	0	0	0	0	X	X	X	7
S. Moreno, 2009	X	X	X	X	0	0	0	X	X	X	X	8
J. Chobert 2014	X	X	X	X	0	0	0	X	X	X	X	8
Lisa M. Barnett, 2009	X	X	0	X	0	0	0	X	X	X	X	7
C. M. Capio., 2011	X	X	X	X	0	0	0	X	X	X	X	8
TING LIU JODY L. JENSEN, 2009	X	X	0	X	0	0	0	X	0	X	X	7
Cyrille Magne, 2006	X	X	0	X	0	0	0	X	X	X	X	7
Lutz Jancke, 2007	X	X	0	X	0	0	0	X	X	X	X	7
Christopher J. Steele, 2013	X	X	0	X	0	0	0	X	X	X	X	7
R. Westerhausen, 2011	X	X	0	X	0	0	0	X	X	X	X	7

## Anexo 3: Escala PEDro.

### Escala PEDro-Español

---

1. Los criterios de elección fueron especificados no  si  donde:
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos) no  si  donde:
3. La asignación fue oculta no  si  donde:
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes no  si  donde:
5. Todos los sujetos fueron cegados no  si  donde:
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados no  si  donde:
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados no  si  donde:
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos no  si  donde:
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar" no  si  donde:
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave no  si  donde:
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave no  si  donde:

## Escala PEDro

### Notas sobre la administración de la escala:

**1. Los criterios de elección fueron especificados:** Este criterio se cumple si el artículo describe la fuente de obtención de los sujetos y un listado de los criterios que tienen que cumplir para que puedan ser incluidos en el estudio.

**2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos):** Se considera que un estudio ha usado una designación al azar si el artículo aporta que la asignación fue aleatoria. El método preciso de aleatorización no precisa ser especificado. Procedimientos tales como lanzar monedas y tirar los dados debería ser considerado aleatorios. Procedimientos de asignación cuasi-aleatorios, tales como la asignación por el número de registro del hospital o la fecha de nacimiento, o la alternancia, no cumplen este criterio.

**3. La asignación fue oculta:** La asignación oculta (enmascaramiento) significa que la persona que determina si un sujeto es susceptible de ser incluido en un estudio, desconocía a que grupo iba a ser asignado cuando se tomó esta decisión. Se puntúa este criterio incluso si no se aporta que la asignación fue oculta, cuando el artículo aporta que la asignación fue por sobres opacos sellados o que la distribución fue realizada por el encargado de organizar la distribución, quien estaba fuera o aislado del resto del equipo de investigadores.

**4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes:** Como mínimo, en estudios de intervenciones terapéuticas, el artículo debe describir al menos una medida de la severidad de la condición tratada y al menos una medida (diferente) del resultado clave al inicio. El evaluador debe asegurarse de que los resultados de los grupos no difieran en la línea base, en una cantidad clínicamente significativa. El criterio se cumple incluso si solo se presentan los datos iniciales de los sujetos que finalizaron el estudio.

**5. Todos los sujetos fueron cegados:** Cegado significa que la persona en cuestión (sujeto, terapeuta o evaluador) no conocía a que grupo había sido asignado el sujeto. Además, los sujetos o terapeutas solo se consideran “cegados” si se puede considerar que no han distinguido entre los tratamientos aplicados a diferentes grupos. En los estudios en los que los resultados clave sean auto administrados (ej. escala visual analógica, diario del dolor), el evaluador es considerado cegado si el

sujeto fue cegado.

**6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados:**

Se consideran “cegados” si se puede considerar que no han distinguido entre los tratamientos aplicados a diferentes grupos.

**7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados:**

los sujetos o terapeutas solo se consideran “cegados” si se puede considerar que no han distinguido entre los tratamientos aplicados a diferentes grupos. En los estudios en los que los resultados clave sean auto administrados (ej. escala visual analógica, diario del dolor), el evaluador es considerado cegado si el sujeto fue cegado.

**8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos:**

Este criterio solo se cumple si el artículo aporta explícitamente tanto el número de sujetos inicialmente asignados a los grupos como el número de sujetos de los que se obtuvieron las medidas de resultado clave. En los estudios en los que los resultados se han medido en diferentes momentos en el tiempo, un resultado clave debe haber sido medido en más del 85% de los sujetos en alguno de estos momentos.

**9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por “intención de tratar”:**

El análisis por intención de tratar significa que, donde los sujetos no recibieron tratamiento (o la condición de control) según fueron asignados, y donde las medidas de los resultados estuvieron disponibles, el análisis se realizó como si los sujetos recibieran el tratamiento (o la condición de control) al que fueron asignados. Este criterio se cumple, incluso si no hay mención de análisis por intención de tratar, si el informe establece explícitamente que todos los sujetos recibieron el tratamiento o la condición de control según fueron asignados.

**10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave:**

Una comparación estadística entre grupos implica la comparación estadística de un grupo con otro. Dependiendo del diseño del estudio, puede implicar la comparación de dos o más tratamientos, o la comparación de un tratamiento con una condición de control. El análisis puede ser una comparación simple de los resultados medidos después del tratamiento administrado, o una comparación del cambio experimentado por un grupo con el cambio del otro grupo (cuando se ha utilizado un análisis factorial de la varianza para analizar los datos, estos últimos son a menudo aportados como una interacción grupo x tiempo). La comparación puede realizarse mediante un

contraste de hipótesis (que proporciona un valor “p”, que describe la probabilidad con la que los grupos difieran sólo por el azar) o como una estimación de un tamaño del efecto (por ejemplo, la diferencia en la media o mediana, o una diferencia en las proporciones, o en el número necesario para tratar, o un riesgo relativo o hazard ratio) y su intervalo de confianza.

**11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave:** Una estimación puntual es una medida del tamaño del efecto del tratamiento. El efecto del tratamiento debe ser descrito como la diferencia en los resultados de los grupos, o como el resultado en (cada uno) de todos los grupos. Las medidas de la variabilidad incluyen desviaciones estándar, errores estándar, intervalos de confianza, rango intercuartílicos (u otros rangos de cuantiles), y rangos. Las estimaciones puntuales y/o las medidas de variabilidad deben ser proporcionadas gráficamente (por ejemplo, se pueden presentar desviaciones estándar como barras de error en una figura) siempre que sea necesario para aclarar lo que se está mostrando (por ejemplo, mientras quede claro si las barras de error representan las desviaciones estándar o el error estándar). Cuando los resultados son categóricos, este criterio se cumple si se presenta el número de sujetos en cada categoría para cada grupo.

#### Anexo 4: Caracterización de los artículos incluidos.

Autor	Metodología	Conclusión
<b>Katherine J Sullivan y cols. (2008).</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar el efecto de diferentes frecuencias relativas a la retroalimentación sobre la adquisición de habilidades en los niños en comparación con los adultos jóvenes.</li> <li>- Participaron jóvenes de entre 22-30 años y niños de entre 8-14 años.</li> <li>- Cada sujeto fue su control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron adultos 21 a 35 años y niños de 8 a 14 años.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron problemas ortopédicos o neurológicos que pudieran interferir con la capacidad de realizar movimiento del brazo coordinado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hay una mejora en la capacidad de integrar visual y propioceptivamente las entradas aferentes con la edad, lo que resulta en un rendimiento motor más eficiente en niños de 8 a 14 años.</li> <li>- Al comparar los niños de 8 y 9 años de edad y los niños de 13 y 14 años de edad se puso de manifiesto que los niños mayores tenían menos error durante la adquisición y las pruebas de retención que los niños más pequeños.</li> <li>- Los niños entre 8 a 14 años con la práctica, desarrollan la capacidad de programar la fase balística de los movimientos comparables a la de adultos.</li> </ul>
<b>W. Gaetz y cols. (2010).</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparar los movimientos entre niños y adultos.</li> <li>- Participaron 10 niños sanos (4-6 años), 10 niños pre púberes (11 a 13 años) y 10 adultos (24-42 años).</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron niños con 4 años 6 meses y 6 años 6 meses, 11 años 6 meses y 13 años 6 meses.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron poseer patología psiquiátrica y/o neurológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La Movilidad de cabeza en niños tenía tiempos más largos que en los adultos y la movilidad de los dedos presentó mayores tiempos en el rango de 4 a 6 años.</li> <li>- Resultados proporcionan evidencia de que las redes corticales motoras responsable de apoyar PMBR (la sincronización gamma relacionada con el movimiento) obedecen a una evolución en el tiempo de desarrollo.</li> </ul>

<p><b>Kathleen M. Thomas y cols. (2006).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparar el aprendizaje de secuencias implícita en adultos y niños de 7 a 11 años de edad, para examinar diferencias de potencial de desarrollo en el reclutamiento de los circuitos fronto-estriado durante el aprendizaje implícito.</li> <li>- Participaron 10 adultos diestros entre 23 y 33 años y 10 niños diestros entre 7 y 11 años.</li> <li>- Cada sujeto fue su control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron Ser diestros, estar dentro del rango etario, haber firmado el consentimiento por escrito de conformidad con los procedimientos.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron Tener diagnóstico o alteración psicológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los adultos mostraron una mayor actividad en las zonas de la corteza, mientras que los niños mostraron una mayor actividad en el putamen bilateral.</li> <li>- Los niños reclutan patrón predominantemente subcorticales para esta tarea motora, mientras que los adultos demuestran un mayor reclutamiento de las zonas corticales.</li> <li>- Niños y niñas se acostumbraron primero en el entorno de digitalización en un simulador de resonancia magnética que los adultos.</li> <li>- El grupo de niños, tuvieron una gama más amplia de los tiempos de reacción.</li> <li>- Los adultos mostraron una mayor activación del hipocampo durante los ensayos de secuencia que durante los ensayos aleatorios, mientras que los niños demostraron el patrón inverso. Los niños mostraron mayor actividad del hipocampo que los adultos durante la ejecución de una nueva asignación de estímulo-respuesta.</li> </ul>
<p><b>Bouwien C.M y cols. (2006).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar los efectos a largo plazo del aumento clases de educación física y su efecto sobre el rendimiento escolar. Para así mejorar las habilidades motoras de los alumnos y mejorar la proporción de alumnos que califiquen a una escuela secundaria superior.</li> <li>- Participaron niños de 6 y 10 años.</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control</li> <li>- Criterios de inclusión ser diestros, haber firmado el consentimiento informado.</li> <li>- Criterios de exclusión tener alteraciones motoras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los presentes hallazgos están de acuerdo con la idea de que el desarrollo del desempeño motor tiene cuatro determinantes: mayor velocidad, mayor precisión, menos procesamiento de la información durante la planificación del movimiento y ejecución más fluida del movimiento.</li> <li>- La baja velocidad de los dos modos de apuntar en niños pequeños es compatible con la idea de que la velocidad de ejecución en ambas tareas sigue siendo limitada por la capacidad de utilizar el control de lazo abierto.</li> <li>- Aunque las estructuras cerebrales involucradas son diferentes en tareas cíclicas y discretas, estas áreas maduran en paralelo. El desarrollo tanto del tracto corticoespinal como del cerebelo no está terminado en la edad evaluada en este estudio. Para identificar la meseta en desarrollo, los grupos de niños mayores tendrían que ser estudiados.</li> </ul>
<p><b>I. Ericsson y cols. (2012).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El objetivo fue estudiar los efectos a largo plazo de clases de educación física aumentada y su efecto sobre el rendimiento escolar.</li> <li>- Se incluyeron 251 alumnos al estudio.</li> <li>- Participaron 48 Varones y 43 niñas en el grupo control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron pertenecer a la escuela, estar en los 3 primeros años escolares, tener entre 7-9 años.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron, no haber firmado el consentimiento informado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se concluyó que las habilidades motoras mejoraron desde el inicio de la intervención hasta el año escolar 9 al analizar a niños y niñas juntos en ambos grupos.</li> <li>- Mejoras significativas fueron encontradas en los sujetos de intervención y no así en el Control.</li> <li>- La suma de las puntuaciones en los niños evaluados fue mayor en el grupo de intervención de 9 años. Además en el año escolar con 9 años, los resultados obtenidos fueron más altos que en todos los años anteriores.</li> <li>- Se concluye que los resultados apoyan estudios que sugieren que la actividad física está asociada con logros infiriendo que no sólo existe una asociación, sino que en realidad una estrategia de intervención basada en la población con mayor actividad física y capacitación motora podría mejorar el rendimiento escolar.</li> </ul>

<p><b>Ben Sidaway y cols. (2012).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examinar la interacción de la frecuencia de conocimiento de resultados y la complejidad de la tarea en la adquisición, retención y transferencia de una habilidad de lanzamiento.</li> <li>- Niños y niñas de las clases de cuarto y quinto grado en una escuela de la comunidad local.</li> <li>- Cada sujeto era su propio control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron pertenecer a los cursos de 4 y 5 grado, haber firmado el consentimiento y asentimiento informado.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron, historia conocida de un problema de aprendizaje o cualquier problema músculo-esquelético actual o alteraciones neurológicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todos los grupos de niños mejoraron tanto en la precisión y la coherencia de las respuestas con la práctica.</li> <li>- Las manipulaciones de la retroalimentación, la frecuencia y la dificultad de la tarea tenían poca influencia diferencial de la velocidad a la que los niños mejoraron en el lanzamiento de rendimiento.</li> <li>- Los niños que mostraron el mayor aprendizaje fueron a los que se les proporcionó una retroalimentación total. Por lo tanto, proporcionar a los niños retroalimentación después de cada ensayo hizo la tarea menos cognitivamente desafiante, con lo que el desafío de nuevo cerca del punto de entrada óptimo.</li> </ul>
<p><b>Emanuel M, Jarus T, Bart O. (2008).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examinar la influencia del foco de atención en el rendimiento motor de los niños y los adultos.</li> <li>- Participaron 34 niños y 32 adultos, 20 de ellas eran niñas y 14 niños, con un promedio de edad de 8,4 a 9,8 años de edad en estos niños.</li> <li>- Cada sujeto era su propio control, 1 grupo enfoque interno y 2 grupos de enfoque externo.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron pertenecer a la escuela, firmar consentimientos informados.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron retrasos conocidos o problemas de desarrollo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se comprueba que quienes pertenecían al foco externo (acción) referían mejores resultados en relación a los de enfoque interno (movimientos corporales) en adultos, mientras que en niños no se encontraron diferencias en ambos grupos.</li> <li>- En los adultos que están aprendiendo o re- aprendiendo un movimiento en la clínica, el terapeuta debe usar instrucciones sobre el enfoque externo de la atención para mejorar la ejecución del movimiento. Esto debe ser investigado en adultos con trastornos del movimiento para verificar la generalización de los resultados.</li> <li>- Entre los niños, los resultados no estaban claros, siendo más ventajosos los movimientos internos. Al compararlos se concluía que los adultos al tener mejor experiencia en sus movimientos motores, eran más automatizados, mientras que en los niños se generaba una similitud en torno a los adultos en cuanto podían aprender el movimiento y no automatizarlo.</li> </ul>

<p><b>Shoshi Dorfberger y cols. (2012).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El objetivo del presente estudio fue probar si las ganancias logradas en el desempeño de la tarea de aprendizaje secuencia oposición dedo-pulgar (FOS).</li> <li>- Participaron niños de 9, 12 y 17 años.</li> <li>- El grupo control fue el grupo 3 de 17 años de edad.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron Pertenecer a las escuelas, tener 9, 12, 17 años, recordar 5/5 dígitos en una prueba de retención de dígitos hacia adelante con el fin de asegurar la explícita, la retención de la memoria a corto plazo de una secuencia de 5-elemento.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron poseer historial de problemas motores, no haber firmado el consentimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si bien se encontraron mejores resultados en la mano no dominante entrenada en comparación con la mano diestra tanto en velocidad como exactitud, no son concluyentes, muestran un claro aprendizaje post entrenamiento relacionados a la transferencia, a pesar que la mano sin entrenamiento mostraba mejores resultados, mostrando así mejores resultados en los niños.</li> <li>- Los resultados mostraron que es poco probable que los niños antes de la adolescencia sigan representando la secuencia de movimientos individuales en lugar de como un conjunto ordenado movimiento específico. Una sola sesión de entrenamiento en el orden de 200 repeticiones de la secuencia de movimiento, fue suficiente para generar una representación independiente de la secuencia específica en la serie de movimientos capacitados en todos los grupos de edad estudiados.</li> </ul>
<p><b>Sylvain Moreno Y cols. (2009).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar las diferencias funcionales entre los músicos y los no músicos reflejan predisposiciones específicas para la música o el resultado de la formación musical.</li> <li>- Participaron niños de 8 años.</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron que fueran de la escuela elemental al sur de Portugal, que no fueran músicos, audición normal, diestros, nivel socioeconómico no relacionado a música, responder el cuestionario para padres.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron no vivir en la región de Portugal sur o no pertenecer al colegio en estudio.</li> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El entrenamiento musical mejoró las habilidades de lectura y discriminación del tono, teniendo como principal influyente el entrenamiento musical.</li> <li>- Los resultados mostraron que la formación de niños de 8 años con música mejoró las habilidades de lectura específicamente cuando la correspondencia fonema a grafema era compleja.</li> <li>- Por otra parte, la conclusión de que la formación musical mejoró las habilidades de lectura está en consonancia con los resultados de un estudio a gran escala de niños de 4 y 5 años que muestran que la capacidad de la percepción de la música es una evidencia que muestra una influencia positiva del entrenamiento de la música en habilidades de la lectura y de la escritura, en este caso, en niños de 8 años. Esto muestra bases para poder determinar cambios a nivel cerebral en base a los nuevos aprendizajes, que pudiesen ser la base por ejemplo para adquirir nuevas habilidades como aprender un idioma.</li> </ul>

<p><b>Julie Chobert y cols. (2014).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar si las diferencias funcionales entre los músicos y los no músicos reflejan predisposiciones específicas para la música o el resultado de la formación musical.</li> <li>- Los participantes fueron niños de 8 a 12 años.</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron, formar parte de la escuela elemental al sur de Francia; audición normal, diestros, nivel socioeconómico no relacionado a música, responder el cuestionario para padres.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron ser músicos, no vivir en la región de Francia sur o no pertenecer al colegio en estudio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se registraron diferencias significativas entre la MMN (negatividad de desajuste) y VOT (tiempo de inicio de la voz) después de 12 meses de entrenamiento musical, más no mejoras en el entrenamiento de pintura, generando así mejoras significativas en aquellos que fueron entrenados, lo que explicaría un desarrollo mayor asociado a la maduración en los niños.</li> <li>- Esto implicaría una estrecha relación con la neuroplasticidad en el cerebro de los niños, al observar estas mejoras en niños entrenados en el estudio, con al menos 6 meses de entrenamiento. Esto podría asociarse a mejoras en el entrenamiento del habla, especialmente ante alteraciones como la dislexia.</li> </ul>
<p><b>Lisa M. Barnett y cols. (2009).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demostrar la importancia del aprendizaje motor y la actividad física en los niños repercute en la adolescencia y en la edad adulta.</li> <li>- Los participantes fueron niños de 7,9 a 11,9 años.</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron pertenecer a uno de los colegios seleccionados, tener entre 7 y 9 años, responder el consentimiento informado para padres y niños.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existen diferencias en cuanto al sexo: los varones obtuvieron mejores resultados que las mujeres (objeto); en cuanto las mujeres en habilidades locomotoras eran mejores las mujeres que los hombres.</li> <li>- La habilidad adquirida en la niñez resultó en una mejora en la adultez. Los niveles físicos disminuyen generalmente durante la adolescencia disminución más marcada que se produce entre las edades de 13 y 18 años.</li> <li>- Las niñas tienen una menor habilidad en el control de objetos manuales a comparación de los niños.</li> </ul>
<p><b>C. M. Capio y cols. (2011).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examinar el desarrollo movimientos fundamentales dominantes (FMS) en el lanzamiento de manos en los niños a través de un programa de formación reducido por error.</li> <li>- Los participantes fueron estudiantes de primaria (3 a 5 grado) en una escuela en Hong Kong.</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron matriculados en clases de educación física estar en los cursos designados. (3 a 5 grado), firmar consentimiento informado.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron haber sido diagnóstico con alguna condición del desarrollo, poseer condiciones médicas que contraindiquen la actividad física.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los niños tuvieron Significativamente más altos puntajes que las niñas en alta capacidad y estos tuvieron puntuaciones significativamente más altas que los niños de baja capacidad.</li> <li>- Los niños tenían mayor exactitud que las niñas y como se esperaba, ya que se basó en la precisión de lanzamiento de la prueba previa, los niños de alta capacidad tenían una mayor precisión baja capacidad de los niños.</li> <li>- Los niños de alta capacidad le daban más al objetivo que los niños de baja capacidad mientras que los niños tuvieron más aciertos que las niñas.</li> <li>- Los niños de baja capacidad mostraron mejoras en la precisión de lanzamiento, particularmente el programa de entrenamiento con errores reducidos. Esto apoya la proposición de que las condiciones de aprendizaje y los errores son limitados puede ser beneficioso para los niños con habilidades más bajas.</li> </ul>

<p><b>Ting Liu Jody L. Jensen (2009).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examinar si la retroalimentación sensorial auditiva era beneficiosa para los niños que aprenden una tarea continua del ciclo.</li> <li>- Los participantes fueron 15 niños (8 niños y 7 niñas) de 4 a 7 años y 15 adultos (7 hombres y 8 mujeres) de 22 a 33 años.</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control.</li> <li>- Los criterios de inclusión, reclutados El periódico estadista local y los contactos personales de los autores y de Las comunidades locales. Los adultos eran estudiantes universitarios de Kinesiología.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron firmar consentimiento informado, firmar asentimiento informado, poseer antecedentes de problemas del desarrollo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los niños respondieron a la retroalimentación auditiva con un RMSE menor y mostraron un mayor rendimiento en adquisición, retención y transferencia fases. A diferencia de los niños, los adultos en estado auditivo produjeron peor desempeño que los de trabajo auditivo + visual condiciones de adquisición, pero se observó el efecto inverso en la retención y la transferencia.</li> <li>- Los adultos están en sus techos (el límite superior de rendimiento) con poca o ninguna habitación para mejorar incluso con suficiente cantidad de práctica. Sin embargo, los niños están en sus pisos (la limitación inferior del logro) con gran espacio para la mejora significativa después de una cierta cantidad de formación.</li> <li>- La condición auditiva es más eficaz para los niños aprendiendo una tarea continua de ciclismo la retroalimentación sensorial auditiva, fue más efectiva que la retroalimentación visual y auditiva + visual para los niños. Por lo tanto, es beneficioso para los estudiantes jóvenes utilizar información sensorial auditiva para el aprendizaje de una tarea motora de ciclo continuo en las primeras etapas de adquisición de habilidades.</li> <li>- Las diferencias de rendimiento observadas en función de la edad pueden ser resultado de procesar diferencias en uno o más procesos de procesamiento de estrategias. Estos hallazgos destacan la importancia de la sensibilidad auditiva y retroalimentación para el éxito de los niños durante la adquisición del desempeño Motor. Esto es particularmente importante para los niños que una representación visual.</li> </ul>
<p><b>Cyrille Magne y cols. (2006).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar que entrenamiento musical facilita el procesamiento de tono no sólo en la música, sino también en el lenguaje.</li> <li>- Participaron niños músicos y no músicos que provenían de la misma escuela primaria y tenían antecedentes socioeconómicos similares.</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron pertenecer a la escuela, firmar consentimiento y asentimiento informados, tener al menos 4 años de formación en la música, ser diestros.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron poseer problemas auditivos, poseer alteraciones motoras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se encontró evidencia de un mecanismo de procesamiento de tono común en el lenguaje y la percepción musical.</li> <li>- Por otra parte, al mostrar diferencias cualitativas y cuantitativas en los ERPs registrados de niños músicos y no músicos, se pudo descubrir algunos de los procesos neurofisiológicos que pueden ser la base de los efectos positivos de transferencia entre la música y el lenguaje. En los niños músicos se refleja una mayor sensibilidad al procesamiento del tono. Y esto se reflejaba en la mayor positividad tardía a las incongruencias débiles que las palabras congruentes en el lenguaje que no se encontró en los niños no músicos.</li> <li>- En particular, los presentes resultados ponen de relieve los efectos positivos de las lecciones de música para las habilidades lingüísticas en los niños.</li> </ul>

<p><b>Lutz Jancke y cols. (2007).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento de un software de aprendizaje multimedia denominado Dybuster.</li> <li>- Los participantes fueron Niños disléxicos nativos de habla alemana.</li> <li>- 37 controles (17 mujeres y 20 hombres), de 9-11 años.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron tener entre 9 y 11 años, hablar alemán, tener dislexia.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron coeficiente intelectual &lt; 85.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los niños con dislexia del desarrollo y los controles mejoraron sustancialmente su escritura practicando 15-30 minutos al día durante unos 3 meses. Esta mejora fue incluso evidente para las palabras no aprendidas que no practicaron en la formación Dybuster, revelando así la participación de los mecanismos de transferencia de aprendizaje.</li> </ul>
<p><b>Christopher J. Steele y cols. (2013).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encontrar una correlación entre el desarrollo musical y la maduración del cuerpo calloso.</li> <li>- Participaron 36 niños músicos, que empezaron su formación antes y después de los 7 años.</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control.</li> <li>- Criterios de inclusión, haber comenzado su entrenamiento antes de los 7 y con experiencia musical, haber sido evaluados con el cuestionario de experiencia musical, tener al menos 7 años de experiencia musical, ser diestros, haber respondido el consentimiento informado.</li> <li>- Los criterios de exclusión fueron poseer alteraciones neurológicas, utilizar fármacos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los resultados muestran que el entrenamiento musical temprano tiene un impacto en la estructura de la materia blanca y la sincronización sensorimotora, proporcionando pruebas de un período sensible donde la experiencia produce cambios duraderos en el cerebro y el comportamiento, cuya región experimenta importantes cambios en su desarrollo entre los 6 y 8 años.</li> </ul>
<p><b>Rene Westerhausen y cols. (2011).</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examinar la relación entre el desarrollo funcional en el período de tiempo crítico, estudiando.</li> <li>- Participaron 20 niños a la edad de 6 y 8 años.</li> <li>- Cada sujeto fue su propio control.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron tener entre 6 y 8 años, ser niños sanos.</li> <li>- Los criterios de inclusión fueron patologías auditivas, trastornos mentales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de sustracción entre grupos para identificar las regiones de materia blanca, que pueden diferir entre grupos de músicos que coinciden con años de formación y experiencia. Este contraste categórico recoge las diferencias de grupo.</li> <li>- Se observó un crecimiento en el istmo del cuerpo calloso, fibras que interconectan ambos hemisferios, además de cambios en la estructura y la función a lo largo del tiempo en este mismo lugar.</li> </ul>