

**EFFECTOS DE LA REALIDAD VIRTUAL SOBRE EL APRENDIZAJE
MOTOR EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL. REVISIÓN DE LITERATURA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN FISIOTERAPIA DE NEUROREHABILITACIÓN**

**NATHALIE ALEJANDRA MACANA GUERRERO
DIANA MARCELA MONROY BOHORQUEZ**

Autores

LILIANA MAYA

Asesor del proyecto

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ESCUELA COLOMBIANA DE
REHABILITACIÓN
FACULTAD DE FISIOTERAPIA
ESPECIALIZACIÓN NEUROREHABILITACIÓN**

**BOGOTÁ, COLOMBIA
JULIO DE 2018**

Contenido

Resumen.....	3
Abstract.....	4
Problema de investigación.....	6
Planteamiento del problema.....	6
Pregunta de investigación.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
Justificación.....	11
Marco de referencia.....	13
Parálisis cerebral.....	13
Aprendizaje motor.....	15
Realidad virtual.....	23

Neuroplasticidad.....	25
Marco metodológico	29
Tipo de estudio.....	29
Estrategia de búsqueda.....	29
Criterios de inclusión	30
Criterios de exclusión	30
Estrategias abstracción de información y análisis de datos	31
Resultados	32
Análisis y Descripción de Estudios incluidos.....	33
Discusión.....	37
Conclusiones.....	39
Bibliografía	41

Resumen

La parálisis cerebral (PC) es una lesión la cual afecta los centros del control motor de uno o de ambos hemisferios cerebrales dentro del desarrollo cerebral, liderando la mayoría de las discapacidades motoras (Sequelra & cols, 2016); la PC repercute en el desempeño de las actividades básicas cotidianas (ABC) y actividades de la vida diaria (AVD), ocasionando limitación en la realización de las actividades generando restricción en la participación; las manifestaciones de la PC son variables dado a la plasticidad neuronal y la capacidad adaptativa del sistema nervioso; por lo cual la PC es una de las patologías infantiles las cuales afectan la coordinación del movimiento, la postura y el control motor. (Gonzalez,2005).

Por lo cual la intervención desde la fisioterapia neurológica se basa en técnicas sobre el control postural, facilitación neuromuscular entre otras, enfocándose de esta manera en el control motor del individuo, sin embargo, en la actualidad desde la neurorehabilitación se da un enfoque desde el aprendizaje motor empleando la utilización de herramientas tecnológicas como el uso de la RV. Según (Chen & cols, 2017) la RV es definida como una simulación interactiva creada por un software y hardware el cual simula el entorno/ambiente la cual ofrece un medio único en el que la terapia puede ser proporcionada dentro de un contexto funcional, útil y motivador. El empleo de sistemas de realidad virtual constituye un nuevo enfoque de tratamiento que refuerza el aprendizaje motor orientado a tareas ya que los ambientes virtuales han servido como medio para la realización de ejercicios de rehabilitación, evidenciando resultados positivos favoreciendo tanto las capacidades neurocognitivas como funcionales, siendo a su vez en un método de intervención donde los

ambientes son escenarios gráficos en los cuales el usuario interactúa en tiempo real haciendo uso de dispositivos sensoriales para visión, audición y propiocepción.

El objetivo del presente trabajo consiste en conocer cuáles son los efectos reportados de la realidad virtual sobre el aprendizaje motor en niños con parálisis cerebral, por medio de la búsqueda de las diferentes bases de datos; en los cuales los sistemas de RV como Xbox, Nintendo Wii, Tablet, entre otros son de fácil adquisición dado a su bajo costo, accesibilidad y variedad en el mercado, por lo cual permite una modificación en cuanto a la frecuencia, duración e intensidad del juego, mejorando la ejecución de tareas ajustando los niveles de funcionalidad de la actividad mejorando los procesos del aprendizaje motor.

Palabras clave: Cerebral Palsy, Physical therapy, Children, realidad virtual, neurorehabilitación, aprendizaje motor, learning motor.

Abstract

Cerebral palsy (CP) is a lesion which affects the motor control centers of one or both cerebral hemispheres within brain development, leading the majority of motor disabilities (Sequelra & cols, 2016); the CP affects the performance of daily basic activities (ABC) and activities of daily living (ADL), causing limitation in the realization of activities generating restriction in participation; the manifestations of PC are variable given the neuronal plasticity and the adaptive capacity of the nervous system; for which PC is one of the childhood pathologies which affect the coordination of movement, posture and motor control. (Gonzalez, 2005).

Therefore, the intervention from neurological physiotherapy is based on techniques on postural control, neuromuscular facilitation among others, focusing in this way on the motor control of the individual, however, currently from the neurorehabilitation a focus is given from the learning engine using the use of technological tools such as the use of the RV. According to (Chen & cols, 2017) the RV is defined as an interactive simulation created by a software and hardware which simulates the environment / environment which offers a unique medium in which the therapy can be provided within a functional context, useful and motivator. The use of virtual reality systems constitutes a new approach to treatment that reinforces task-oriented motor learning, since virtual environments have served as a means to perform rehabilitation exercises, evidencing positive results favoring both neurocognitive and functional abilities, being in turn, an intervention method where environments are graphic scenarios in which the user interacts in real time using sensory devices for vision, hearing and proprioception.

The objective of the present work is to know what are the reported effects of virtual reality on motor learning in children with cerebral palsy, by means of the search of the different data bases; in which RV systems such as Xbox, Nintendo Wii, Tablet, among others are easy to acquire given their low cost, accessibility and variety in the market, which allows a change in frequency, duration and intensity game, improving the execution of tasks adjusting the levels of functionality of the activity improving the motor learning processes. The objective of the present work is to know what are the reported effects of virtual reality on motor learning in children with cerebral palsy, by means of the search of the different databases.

Keywords: Cerebral Palsy, Physical therapy, Children, virtual reality, neurorehabilitation, motor learning, learning motor

Problema de investigación

Planteamiento del problema

En la actualidad la Parálisis Cerebral (PC) es una de las patologías infantiles con mayor índice de discapacidad con una prevalencia en países desarrollados de 2 – 2.5 casos por cada 1000 recién nacidos vivos (Monge,2011), en Colombia según (Uribe,1991) se realizó un estudio durante 24 años en los servicios de neurología de Hospital de San Vicente de Paul y Universidad de Antioquia en el cual evaluaron 33.904 pacientes donde se encontraron 1/1000, de acuerdo (Cordoba,2013) existe una prevalencia de 1-6 a 2.5/1000 nacidos vivos, repercutiendo según (González,2005) en el desempeño de las actividades básicas cotidianas (ABC) y en las actividades de la vida diaria (AVD), ocasionando restricción en la participación; la PC en la actualidad se define como un trastorno no progresivo que ocurre en el desarrollo del sistema nervioso central (SNC) resultante de una encefalopatía del cerebro inmaduro afectando el movimiento, postura, coordinación y cognición de acuerdo a las áreas cerebrales afectadas por el proceso de injuria que sufre el tejido cerebral.

La PC tiene mayor probabilidad en prematuros con peso entre 500 gr y 1249 gr dado a las alteraciones neurológicas que se alteración en el desarrollo del SN a pesar de la teniendo

alteraciones en otros sistemas como visión 12/1000, pérdida auditiva 12/1000, retardo mental 18/1000 ocasionando una tasa de discapacidad en la población infantil 80/1000 (González,2005); sin embargo las manifestaciones de la PC es variable dado a los procesos de plasticidad neuronal y la capacidad adaptativa del SN por lo cual la PC es una patología que afecta la coordinación, postura y control motor.

Sin embargo la definición de la PC ha ido cambiando a través de los años, en 1897 Sigmund Freud lo describió como un desorden que se presentaba en el cerebro en desarrollo, dado por las dificultades al nacimiento acompañado en algunas ocasiones de retardo mental, desórdenes visuales y convulsiones de acuerdo Mc Keith, MacKenzie y Polani en 1959 definieron esta patología como un trastorno motor persistente que aparece antes de los 3 años dado a las interferencias no progresivas en el desarrollo cerebral antes del desarrollo total del sistema nervioso (SN); en la década de los 60 William Little se conocía como la “Enfermedad de Little” la cual es asociada a una asfixia durante el parto, describiéndola como un desorden que se presenta en los primeros años de vida causando espasticidad de los músculos en las piernas y brazos; en 1964 Bax definió la PC como un desorden del movimiento y la postura dado por la inmadurez del cerebro; de acuerdo al Instituto Nacional de Desórdenes y Traumas Neurológicos de los Estados Unidos (NIND’S) el término de PC es usado para describir una serie de desórdenes producidos por un cerebro inmaduro, que generalmente no empeoran con el tiempo y pueden ser lesiones focales o en ambos hemisferios; por lo cual la PC hace referencia a un trastorno neurológico que produce alteraciones en el control motor de comienzo precoz pero de carácter no progresivo el cual

afecta el desarrollo motor, alteración en el lenguaje, comunicación, sensoriales y comportamentales (Gonzalez,2005). La PC es una lesión la cual afecta los centros de control motor de uno o ambos hemisferios dentro del desarrollo cerebral, afectando la planeación del movimiento cuando existe daño en el hemisferio derecho dado hay una alteración en el desarrollo de neuroimágenes para la acción en la planeación del movimiento, afectando el desarrollo de imágenes motoras las cuales contribuyen a la velocidad y precisión del movimiento (Squelra & cols, 2016), dado que es el responsable de estos procesos.

Por lo cual las intervenciones tradicionales desde fisioterapia en niños con PC se han basado en estrategias Bobath las cuales se basan en la “normalización” del tono y la postura anormal , teniendo en cuenta la jerarquización del neurodesarrollo, a su vez se aplican técnicas como Vojta la cual se basa en la locomoción refleja y en la hipótesis del patrón de movimiento global, esta se desarrolla como resultado de la estimulación periférica (Torres & cols,2017), a su vez se emplea terapia acuática la cual consiste en la aplicación de técnicas específicas enfocadas en mejorar la función por lo cual se requiere de la participación del paciente de manera activa, este tipo de terapia facilita la ejecución de los movimientos con menor esfuerzo (Torres & cols,2017); la técnica de Rood se emplea para la facilitación neuromuscular propioceptiva asándose en la integración del ambiente con el individuo, favoreciendo movimientos coordinados favoreciendo el aprendizaje motor dado por estimulación sensorial.

Por lo cual en la mayoría de las técnicas empleadas se enfocan en los procesos del neurodesarrollo y jerarquización del control motor, por lo cual recientes estudios han investigado la importancia del aprendizaje motor para la ejecución del acto motor, por medio de la aplicación de la realidad virtual dado que genera mejoras en las actividades funcionales como el mantenimiento del equilibrio y el control postural, dado que por medio del feedback auditivo y visual permite la solución de problemas mejorando el entrenamiento en el aprendizaje motor, permitiendo el desarrollo de las imágenes motoras tiene efectos importantes sobre el aprendizaje motor (AM) dado a la asociación en la reorganización de la función cerebral, las cuales activan el movimiento imaginado induciendo a la plasticidad neuronal dado a la excitabilidad cortical sobre las regiones premotoras y motoras de ambos hemisferios cerebrales favoreciendo la ejecución del movimiento (Sequelra & cols, 2016)

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los efectos reportados de la realidad virtual sobre el aprendizaje motor en niños con parálisis cerebral?

Objetivo general

Conocer los efectos reportados por la literatura acerca de la realidad virtual sobre el aprendizaje motor en niños con parálisis cerebral

Objetivos específicos

- Identificar los efectos de la realidad virtual sobre los procesos del aprendizaje motor en niños con PC

- Describir los efectos del aprendizaje motor en niños con PC

- Comprender los procesos del aprendizaje motor en niños con PC a través de la aplicación de la realidad virtual.

Justificación

Tradicionalmente las técnicas empleadas para el tratamiento en pacientes con PC se basan en las teorías del control motor, partiendo desde una jerarquización del neurodesarrollo, entre las técnicas empleadas se encuentra de acuerdo (Torres & cols,2007) Bobath la cual tiene como objetivo principal el control del tono muscular y la inhibición de las actividades reflejas anormales, facilitando las reacciones de enderezamiento; el método Rood es una técnica enfocada a la facilitación neuromuscular propioceptiva permitiendo una integración del individuo con el medio ambiente permitiendo procesos de aprendizaje motor, siendo este el resultado de la adecuada estimulación y recepción sensorial favoreciendo el logro de los movimientos coordinados; el método Vojta se basa en la locomoción refleja por medio de la estimulación periférica y terapia acuática las cuales mejoran la función general del individuo aprovechando las propiedades mecánicas y térmicas del agua para favorecer el movimiento.

Por ello las intervenciones desde la neurorehabilitación se encuentran basadas en evidencia científica teniendo en cuenta los conceptos y procesos neurofisiológicos para intervenciones efectivas al individuo, por tal motivo actualmente se tiene en cuenta los procesos del aprendizaje motor como elemento principal para el control motor del individuo

permitiéndole ser funcional dentro de su entorno, donde la adquisición del AM surge a partir de una serie de procesos perceptivos, cognitivos y de acción se da por medio de la experiencia y la repetición (Shumway, 1995); por tanto uno de los métodos que se han empezado a incluir dentro de las intervenciones con el individuo es la aplicación de la RV dado que permite unos procesos de feedback visual y auditivo optimizando de esta forma el entrenamiento del AM, dado que este tipo de intervenciones favorecen los procesos de neuroplasticidad dado que este tipo de juegos crean ambientes virtuales que le permitan desarrollar actividades funcionales, simulando el ambiente donde se desenvuelve el individuo (Chen & cols,2017)

Por tanto la RV en pacientes con PC mejora la función motora y en los procesos de reorganización de mapas neuronales los cuales activan el movimiento imaginado induciendo a la plasticidad neuronal dado a la excitabilidad cortical sobre las regiones premotoras y motoras de ambos hemisferios cerebrales, favoreciendo de esta manera los procesos del AM para la ejecución del movimiento, ya las intervenciones con RV permiten el entrenamiento de las imágenes motoras dentro del AM (Sartori & cols,2016).

Marco de referencia

Parálisis cerebral.

La parálisis cerebral ocurre dado a una encefalopatía en el cerebro inmaduro del feto o del niño, que se presenta sistema nervioso central (SNC), siendo una de las patologías con mayor discapacidad en niños a nivel mundial (López, 2013), afectando los centros del control motor en uno o ambos hemisferios. Actualmente la parálisis cerebral es definida como “Trastorno en el desarrollo del tono postural y del movimiento de carácter persistente que condiciona una limitación en la actividad, secundaria a una lesión no progresiva del cerebro inmaduro. Acompañado por otros trastornos: Sensitivos, cognitivos, lenguaje, perceptivos, conducta, postura, coordinación y en el control motor

Dentro de los hallazgos neurohistológicos (López,2013) se encuentra: La hemorragia subependimaria, encefalopatía hipóxico - isquémica en el cual existe daño difuso en la sustancia gris y blanca (Leucomalacia periventricular) por lo cual la PC al es un síndrome multi-etiológico que comprometen al sistema nervioso (SN); por tanto, se debe tener en cuenta los factores prenatales y perinatales. Los factores prenatales tienen una prevalencia del 85%, dentro de esta etapa hay una reorganización de los circuitos corticales y subcorticales, por lo cual se puede presentar enfermedades infecciosas dentro del primer trimestre por parte

de la madre como (Rubeola, hepatitis, sarampión, anemia, HTA, deficiencia de circulación del útero y la placenta, trastornos de oxigenación), así como enfermedades metabólicas como (Diabetes, alteración en la metabolización de lípidos), incompatibilidad de Rh, bajo peso al nacer ocasionado por parto prematuro lo cual incrementa el riesgo de leucomalacia en el sistema ventricular como resultado de hemorragia intraventricular y dilatación ventricular, en el periodo perinatal tiene una prevalencia del 35% presentándose anoxia neonatal a causa de traumatismo físico directo durante el parto como maniobras de extracción inadecuadas ocasionado sufrimiento fetal, interfiriendo en los procesos de oxigenación y del flujo sanguíneo umbilical hacia la placenta (Lourdes, 2003), también se puede presentar hiperbilirrubinemia; ocasionado por procesos de hipo-hipercapnia y acidosis conllevando a modificaciones en la circulación cerebral y factores postnatales con una prevalencia del 15% dado por traumatismos craneales, meningoencefalitis, hidrocefalia y tumores.

La clasificación de la PC se encuentra relacionada a la sintomatología y de acuerdo a la extensión de la lesión (topografía). Dentro de la PC clasificada por la sintomatología se encuentra (Lourdes,2003): *Parálisis cerebral espástica*: Se presenta como resultado de una lesión en la corteza motora en las áreas sensorio motoras corticales; *parálisis cerebral atetósica/discinetica*: Se presenta por lesiones en los ganglios basales, con la corteza prefrontal y premotora; *parálisis cerebral atáxica*: Se da por lesiones en el cerebelo dada por la conexión con la corteza motora y el mesencéfalo, presentado disminución en el tono muscular.

En la clasificación por topografía se encuentra: *Hemiplejia*: Donde la lesión afecta un hemicuerpo siendo más evidente en miembros superiores; *diplejía*: Existe afectación en las cuatro extremidades, teniendo mayor compromiso en las extremidades inferiores; *tetraplejía*: Existe una afectación de las cuatro extremidades y el tronco; *triplejía*: Existe una afectación de tres extremidades la extremidad no afectada suele ser más funcional, siendo esta clasificación poco frecuente y la *monoplejía*: Hay afectación en una sola extremidad.

Aprendizaje motor

El concepto sobre el aprendizaje motor (AM) ha sido estudiado por diversos autores, de acuerdo (Shumway,1995), el aprendizaje motor lo define como (*Estudio y/o modificación del movimiento, centrándose en el entendimiento de la adquisición o readquisición del movimiento*”, donde lo describe como un conjunto de procesos asociados a la práctica o experiencia que conlleva a cambios relativamente permanente en la capacidad de realizar acciones, de acuerdo a (Llinas,2002) la define como un conjunto de procesos asociados con la práctica y la experiencia que conlleva a la capacidad de realizar acciones las cuales se generan a partir de las imágenes sensoriomotoras por medio de la información sensorial que se recibe, donde se tiene en cuenta la experiencia o la práctica la cual se basa en el comportamiento produciendo cambios relativamente permanentes.

El aprendizaje motor (AM) es definido de acuerdo (Cano,2015) como “*El conjunto de procesos internos asociados a la práctica y a la experiencia los cuales producen cambios en la capacidad de realizar actividades motoras por medio una habilidad específica, no se considera aprendizaje a las modificaciones a corto plazo*”. La habilidad es una característica asociado al componente genético la cual no se puede alterar fácilmente mediante la práctica o la experiencia, y la destreza puede ser modificada mediante la práctica.

Teorías del aprendizaje motor

Fitts y Posner

Se describe el aprendizaje motor a partir de tres etapas fundamentales:

- *Etapa Cognitiva:* En esta fase la persona aprende/ reaprende una habilidad. Por lo cual se requiere de realizar con frecuencia la práctica de la misma, bajo supervisión donde el error es importante en este proceso para la corrección del mismo.
- *Etapa asociativa:* En esta fase la persona se tiene un ambiente controlado, donde disminuye el número de errores dentro de la ejecución de la tarea, logrando realizar con menos esfuerzo la ejecución.

- *Etapas autónomas:* La persona logra la ejecución de la actividad en diferentes entornos, donde dentro de la ejecución mantiene el control en cada una de las fases de la misma.

Modelo de sistema de tres fases de Bernstein.

Esta teoría se enfoca en controlar los grados de libertad, es decir los movimientos independientes necesarios para lograr completar una acción siendo fundamental para el desarrollo de una nueva destreza motora siendo un componente fundamental para el aprendizaje motor (AM). Por lo cual este modelo plantea 3 fases:

- *Fase inicial:* En esta fase el individuo simplifica el movimiento reduciendo los grados de libertad.
- *Fase avanzada:* En esta fase el individuo empieza a ganar ciertos grados de libertad, permitiendo el movimiento en mayor número de articulaciones incluidas en la tarea.
- *Fase experto:* En esta fase el individuo tiene los grados de libertad necesarios que le permiten llevar a cabo la tarea, con la mayor efectividad y de manera coordinada.

Modelo de dos fases de Gentile.

- *Primera fase:* Esta fase incluye la *comprensión* del objetivo de la tarea, el desarrollo de las estrategias de movimiento apropiadas para conseguir el objetivo, y la interpretación de las características del entorno para la organización del movimiento.
- *Segunda fase:* Esta fase se denomina de *fijación* o fase de diversificación, el individuo debe redefinir sus movimientos para cumplir el objetivo, por lo cual el movimiento se adapta de acuerdo al entorno, para el desarrollo de manera eficiente y consistente de la tarea a desarrollar.

Teoría del circuito cerrado de Adams.

Esta teoría generó interés en la década de los 70's donde los científicos deseaban determinar la adquisición de las habilidades motoras, se fundamenta en procesos de circuito cerrado del control motor empleando el feedback sensorial para la producción secuencial del movimiento dentro del **SN** teniendo en cuenta la memoria del almacenamiento del movimiento que se desea, por lo cual se tiene en cuenta dos elementos: Trazo perceptivo el cual se elabora luego de un periodo de practica y el trazo de memoria el cual es empleado para la selección e inicio del movimiento para dar inicio a la acción del movimiento por lo cual se genera una activación inicial del trazo perceptivo para detectar el error dentro de la ejecución del movimiento (Shumway,2003)

Teoría esquemática de Schimidt.

Esta teoría se desarrolla en la década de los 70's dada a la limitación de la teoría de circuito cerrado para el aprendizaje, por lo cual esta teoría se enfocaba en los procesos de circuito abierto del control y el concepto del programa motor siendo fundamental para la comprensión del control motor; en esta teoría se proponía que los programas motores no contienen detalles de los movimientos por lo cual envolvían patrones generalizados, por tanto en el momento en que el individuo aprende un nuevo programa motor este lo conlleva a la aplicación en diversos contextos. Dentro de esta teoría se emplea el concepto del esquema dado desde el control motor, donde el individuo efectúa el movimiento a partir de la memoria teniendo en cuenta: condiciones iniciales del movimiento, parámetros del control motor en cuanto al conocimiento del resultado y las consecuencias sensoriales del movimiento (Sintió, vio y sonó) esta información es extraída a partir del esquema del reconocimiento sensorial; donde el reconocimiento del esquema es utilizado para la evaluación de respuestas sensoriales, contribuyendo a los procesos de aprendizaje. Esta teoría se basa en los procesos progresivos de actualizar esquemas de reconocimiento y de recuerdo con cada acción realizada donde se envía alguna señal de error para la corrección del movimiento siendo este modificado (feedback).

Factores que influyen en el aprendizaje motor.

El aprendizaje motor (AM) de acuerdo (Cano, 2015), depende de varios factores para el proceso del aprendizaje como: Edad, raza, cultura y la predisposición genética. Sin embargo, también depende de otros factores como:

- *Instrucciones verbales:* Facilita que la atención se centre en los objetivos y condiciona las estrategias de aprendizaje que va a utilizar en el momento en la ejecución de un movimiento.

- *Características y la variabilidad de la práctica:* La ejecución de la tarea se plantea conllevando a una repetición, donde esto permite tener un mejor control sobre las modificaciones que se le realizan a la tarea, facilitando al individuo extrapolar estas prácticas a diferentes entornos permitiendo un aprendizaje del mismo, dado que el aprendizaje puede ser facilitado o interrumpido por el contexto.

- *Participación activa:* Permite que dentro de los procesos del aprendizaje se realice y mantenga una continuidad del mismo.

- *Motivación e implicación del individuo:* Es fundamental para la ejecución y resolución de la tarea.

- *Posibilidad de cometer errores:* Permite que, por medio de presentar posibles soluciones dentro de la ejecución de la actividad, favoreciendo los procesos de aprendizaje dado que (Cano, 2015) un adecuado estado de la memoria mejora la adquisición o readquisición de un acto motor.

- *Control Postural:* De acuerdo (Cano, 2015) es definido como el control de la posición del cuerpo en el espacio con propósito de equilibrio y orientación.

- *Retroalimentación:* Es la información que se adquiere como resultado del movimiento, por lo cual la retroalimentación puede ser intrínseca dada a la información exteroceptiva y propioceptiva que se recibe, permitiendo ajustes posturales, y la retroalimentación extrínseca es toda aquella información que se recibe de manera externa, mejorando las habilidades cognitivas del paciente potenciando el AM. Este factor influye en la motivación en el cumplimiento de los objetivos, en el cual se debe tener en cuenta la información verbal que recibe el individuo en el momento que la retroalimentación intrínseca se encuentra disminuida, viéndose reflejado en la calidad del patrón de movimiento; el proceso de retroalimentación va a ir disminuyendo de manera progresiva con el fin de estimular el esfuerzo cognitivo del individuo.

De acuerdo (Shumway,2003) el AM involucra procesos motores como estrategias para moverse, sentir, surgiendo de procesos perceptivos, cognitivos y de acción. En el AM se tiene en cuenta el desempeño de la actividad teniendo en cuenta el desempeño como el resultado de una serie de interacciones, el AM se da en diversas formas:

- *Forma no asociativa:* Sucede cuando se da un único estímulo de manera repetida, en este proceso el sistema nervioso (SN) integra el estímulo como aprendizaje, donde se tiene en cuenta la habituación como el resultado a la exposición constante, generando de esta manera una sensibilización ante el estímulo generado.

- *Aprendizaje asociativo:* Es la respuesta que se da por medio de la asociación de ideas, esta forma de aprendizaje permite predecir relaciones entre el vínculo de un estímulo con otro (Condicionamiento clásico) y la conexión del comportamiento como resultado (Condicionamiento operativo).
 - *Condicionamiento Clásico:* Consiste en el aprendizaje de dos estímulos, donde el estímulo débil se vuelve efectivo para generar una respuesta cuando se asocia a otro más fuerte (*Estímulo no condicionado*), por lo cual este tipo de aprendizaje permite al individuo predecir la relación entre dos estímulos para responder de manera adecuada.
 - *Condicionamiento operativo:* El individuo hace la relación entre varios estímulos, la cual puede generar una consecuencia, generando de esta manera comportamientos recompensados que tienden a repetirse frente a otros estímulos no agradables los cuales no tienden a repetirse.
- *Aprendizaje por procedimiento declarativo:* Se basa en el tipo de conocimiento que el individuo adquiere, por lo cual la variedad del aprendizaje se basa en el tipo de información que es integrada, se basa en dos procedimientos:
 - *Aprendizaje por procedimiento:* Relaciona aquellas actividades que se pueden desempeñar de manera automática sin atención al proceso consciente (*Hábito*), este tipo de aprendizaje se desarrolla de forma lenta con la repetición de una

acción en diferentes pruebas la cual se expresa por medio del desempeño de la tarea práctica; también se tiene en cuenta la adquisición de la habilidad motora dada por la repetición del movimiento favoreciendo el aprendizaje adquiriéndose de manera automática (*Esquema de movimiento*).

- *Aprendizaje declarativo*: Es el resultado de un conocimiento el cual puede ser recordado de manera consciente, para ello se tiene en cuenta diversos procesos: Conciencia, atención y la reflexión. La repetición constante lo convierte el conocimiento declarativo en procedimiento para el movimiento repetitivo de una actividad motora automática sin necesitar atención o monitoreo del mismo.

Realidad virtual.

De acuerdo a (Monge, 2011) la Realidad Virtual (RV) es definida como aquella tecnología computarizada la cual proporciona procesos de feedback sensorial artificial en el cual el individuo tiene experiencias similares al entorno de su vida real; permitiendo en el usuario procesos de aprendizaje motor; también la RV es definida por (Chen & cols,2017) como una simulación interactiva creada por un software y hardware el cual simula un ambiente/entorno. En la actualidad existen diversos sistemas de RV que se pueden emplear para la simulación de entornos reales para el sujeto, se encuentra sistemas de RV hápticos los cuales emplean el uso de robots para generar la interacción con el sujeto y la realidad virtual, un ejemplo de este tipo de sistema es el Lokomotat el cual es diseñado para el entrenamiento de la marcha; y los sistemas de RV de bajo costo, los cuales por medio de la creación de

personajes “Avatar” permite la participación del sujeto con el entorno virtual, entre estos sistemas encontramos: Wii, play station, Xbox y Nintendo

Las características que definen la RV son *los sistemas de inmersión y de interacción*. Los *sistemas de interacción* se dan por medio de la interacción de diferentes canales sensoriales como: Visión, audición, tacto y olfato; y los *sistemas de inmersión* va de acuerdo a la participación que tiene el individuo con el entorno virtual, estos sistemas permiten intervenir en los procesos cognitivos que van a intervenir en el control motor del individuo. La RV permite generar intervenciones específicas a cada uno de los sujetos dado a la flexibilidad de los programas, la estructuración permitiendo de esta manera mejorar la atención y motivación dentro de las intervenciones del sujeto y permitiendo al terapeuta manejar cada una de las variables que se quieran trabajar dentro de la sesión necesaria para la fomentación del aprendizaje, llevando al individuo a simular sus movimientos dentro de situaciones reales; incrementando sus habilidades de aprendizaje fuera de un entorno terapéutico.

Dentro de la realidad virtual es importante los tres elementos fundamentales que van a intervenir dentro del aprendizaje motor:

- *Repetición*: Mejora las habilidades del aprendizaje motor y funcional, dado a que los procesos de plasticidad dependen de la repetición de la actividad.

- *Feedback Sensorial:* La activación de los diferentes canales sensoriales permite el desarrollo de nuevas redes neuronales, por lo cual se genera una activación y estimulación sensoriomotriz necesaria para la reorganización cerebral (Monge, 2011)
- *Motivación del sujeto:* El entorno de las actividades del sujeto deben ser amenas y de interés para el individuo, permitiéndole enfocarse en los objetivos de la tarea.

EL uso de la RV en niños con PC permite incrementar la frecuencia, duración e intensidad de las simulaciones interactivas del ambiente, el cual le permite desarrollar actividades funcionales mejorando sus procesos de rehabilitación (Chen & cols,2017), este tipo de intervenciones favorece los procesos de feedback visual y auditivo favoreciendo la resolución de tareas optimizando el entrenamiento del AM que permite cambios de neuroplasticidad; incrementando la motivación y compromiso durante el juego. Por lo cual estos tipos de sistemas de RV generan un entrenamiento de las imágenes motoras los cuales favorecen los procesos de AM para la ejecución del movimiento dado a la reorganización de los mapas neuronales que activan el movimiento imaginado dado a la excitabilidad cortical sobre las áreas premotoras y motoras de ambos hemisferios cerebrales (Sequelra & cols,2016).

Neuroplasticidad.

En 1982, PubMed introduce la definición de plasticidad neuronal como término MeSH (del inglés Medical Subject Headings) o palabra clave, como la capacidad del sistema nervioso de cambiar su reactividad, siendo resultado de activaciones sucesivas y la categoriza como un proceso fisiológico del sistema nervioso.

En el año 2006 se definió la neuroplasticidad como un proceso continuo a corto, mediano y largo plazo de remodelación de mapas neurosinápticos, que optimiza el funcionamiento de las redes cerebrales durante la filogenia, ontogenia y posterior a daños del sistema nervioso. De acuerdo (Mary L. Dombovy, 2011), refieren que la plasticidad son cambios en las redes neuronales en respuesta al entrenamiento, la injuria, rehabilitación, farmacoterapia, estimulación eléctrica o magnética y a terapias génicas y de células madres.

La neuroplasticidad de acuerdo a (Garcés, 2014) es la potencialidad del Sistema Nervioso (SN) de modificarse para la formación de nuevas conexiones nerviosas en respuesta a información nueva, como la estimulación sensorial, el desarrollo, disfunción o daño; por lo cual la neuroplasticidad puede asociarse al aprendizaje.

Por lo cual permite al cerebro generar una reorganización de sí mismo para la formación de nuevas redes neuronales dentro del ciclo vital; estos cambios permiten al tejido nervioso experimentar cambios adaptativos en un estado fisiológico con alteración o sin alteración, algunos estudios (Garcés, 2014) indican que la producción y supervivencia de nuevas células (Neurogénesis) las cuales en su mayoría no son funcionales en etapas

inmaduras, son procesos plásticos; los procesos de neurogénesis también se presenta en los adultos en determinadas áreas cerebrales como: Hipocampo, mucosa olfatoria y la zona periventricular; la sinaptogénesis es el proceso por el cual se generan nuevas conexiones especializadas donde la neurona se conecta con una célula diana, el proceso de desenmascaramiento sináptico en el cual las conexiones poco funcionales se activan en el momento de alguna lesión, a su vez algunos autores hablan de plasticidad cortical fisiológica la cual consiste en el sustrato del aprendizaje, la memoria y subprocesos que conllevan al neurodesarrollo, y la plasticidad cortical fisiológica la cual se divide en adaptativa y mal adaptativa.

Los procesos de neuroplasticidad se dan durante la ontogénesis para la elaboración de nuevos circuitos inducidos por el aprendizaje y mantenimiento de las redes neuronales siendo de esta forma una plasticidad natural, cuando se presentan alteraciones o lesiones a nivel del Sistema Nervioso Central (SNC) o en el Sistema Nervioso Periférico (SNP) se denomina plasticidad post-lesional.

Tabla 1

Mecanismos biológicos de la plasticidad neuronal

Mecanismos de plasticidad en las redes neuronales	Mecanismos de plasticidad en las sinapsis
<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de la excitabilidad neuronal (equilibrio iónico celular y axónico, reabsorción del edema y residuos hemáticos, diátesis reversa transináptica) • Actividad en vías neuronales parcialmente indemnes • Plasticidad representacional con neuronas tipo ensamble • Reclutamiento de redes paralelas no ordinariamente activas • Reclutamiento de subcomponentes en redes distribuidas • Modulación de la excitabilidad de subredes por neurotransmisores 	<ul style="list-style-type: none"> • Modulación neuronal de la señalización intracelular (dependiente de factores neurotróficos y de proteína kinasas) • Plasticidad sináptica (modulación de la transmisión basal, hipersensibilidad por denervación, desenmascaramiento sináptico dependiente de actividad, brotes dendríticos) • Brotes axonales y dendríticos de colaterales ilesas • Regeneración axonal (expresión genética de proteínas de remodelación, modulación de factores neurotróficos)

Nota: Procesos de plasticidad neuronal que intervienen dentro del desarrollo de redes neuronales. Tomado de “Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos” por M.V Garcés & J.C Suárez, 2014, Revista *CES Medicina*, 28, p. 122

Por tanto, los procesos de neuroplasticidad del Sistema Nervioso (SN), se dan por diversos mecanismos fisiológicos y biológicos, para la formación de redes neuronales que favorezcan los procesos de aprendizaje motor y nuevos procesos cognitivos.

Marco metodológico

Tipo de estudio

El presente estudio descriptivo, en el cual se realizó la búsqueda de revisiones documentales, estudios de casos y revisiones sistemáticas en las diferentes bases de datos; en las cuales se incluyó revisiones sistemáticas, ensayos clínicos controlados. Dentro de la búsqueda de la información se incluyó revisiones en español e inglés en los cuales se tuvo en cuenta las intervenciones en niños con PC con sistemas de realidad virtual, procesos de aprendizaje motor y neuroplasticidad. Se tuvo en cuenta artículos publicados entre los años 2010 al 2018.

Estrategia de búsqueda

Se realizó la búsqueda de la información en diferentes bases de datos: Scielo, Science Direct, Pubmed, Dialnet, Ebsco, El Servier y bases de datos de acceso libre.

Términos Mesh utilizados dentro de la búsqueda fueron AND y OR

Términos Descriptores de Ciencias de la Salud (DeCS) utilizados fueron: parálisis cerebral - Cerebral Palsy, neuroplasticidad- Neuroplasticity, fisioterapia - Physical therapy, niños-Children, realidad Virtual - Virtual Reality, rehabilitación- Rehabilitation y aprendizaje motor – motor learning. Se llevó a cabo la realización de tres matrices.

Criterios de inclusión

-Artículos publicados a partir del año 2006.

-Artículos de Revisiones Sistemáticas, Meta-análisis, ensayos clínicos controlados que incluyeran dentro de sus metodologías Realidad Virtual y procesos de aprendizaje motor.

-Artículos que dentro de su metodología incluyera niños con diagnóstico de: Parálisis Cerebral, realidad virtual, aprendizaje motor, GMFCS I-II, GMFM-88 Criterios de inclusión.

Criterios de exclusión

-Artículos que hayan incluido niños mayores de 16 años, contracturas, alteraciones cognitivas, espasticidad severa, medicamentos para el tratamiento de la espasticidad.

-Artículos que dentro de su metodología hayan incluido niños con GMFCS niveles III-IV y que sean dependientes para su movilidad criterios de exclusión.

Estrategias abstracción de información y análisis de datos

Se realizó una búsqueda electrónica mediante la aplicación de palabras claves tanto en español como en inglés tales como *parálisis cerebral - Cerebral Palsy, Neuroplasticidad- Neuroplasticity, Fisioterapia - Physical therapy, niños- Children, Realidad Virtual - Virtual Reality, Rehabilitacion- Rehabilitation*, con el fin de analizar y sistematizar la información obtenida se llevaron a cabo tres matrices.

Donde inicialmente se realizó una búsqueda en la base de datos encontrando un total de 954 artículos, discriminados de la siguiente manera: Sciencedirect: 667 Scielo: 70; Pubmed:129; Dialnet: 28; Elsevier:10; otras: 10

Matriz 1. Se realizó una lectura de títulos, resúmenes y filtros en bases de datos, fueron incluidos en la matriz de lectura inicial un total de 50 artículos; 3 para Scielo, 5 para ScienceDirect, 14 para PubMed, 3 para Dialnet, 9 para ElSevier y 16 para Otras (Anexo 1).

Matriz 2. La cual contiene una nueva selección de artículos clasificados según los criterios de inclusión, clasificados por el nombre del artículo, año de publicación, idioma, revista, resumen, conclusiones y base de datos con un total de 13 artículos; 1 para Scielo, 4 para ScienceDirect, 6 para PubMed, 1 para Dialnet y 1 para ElSevier (Anexo 1).

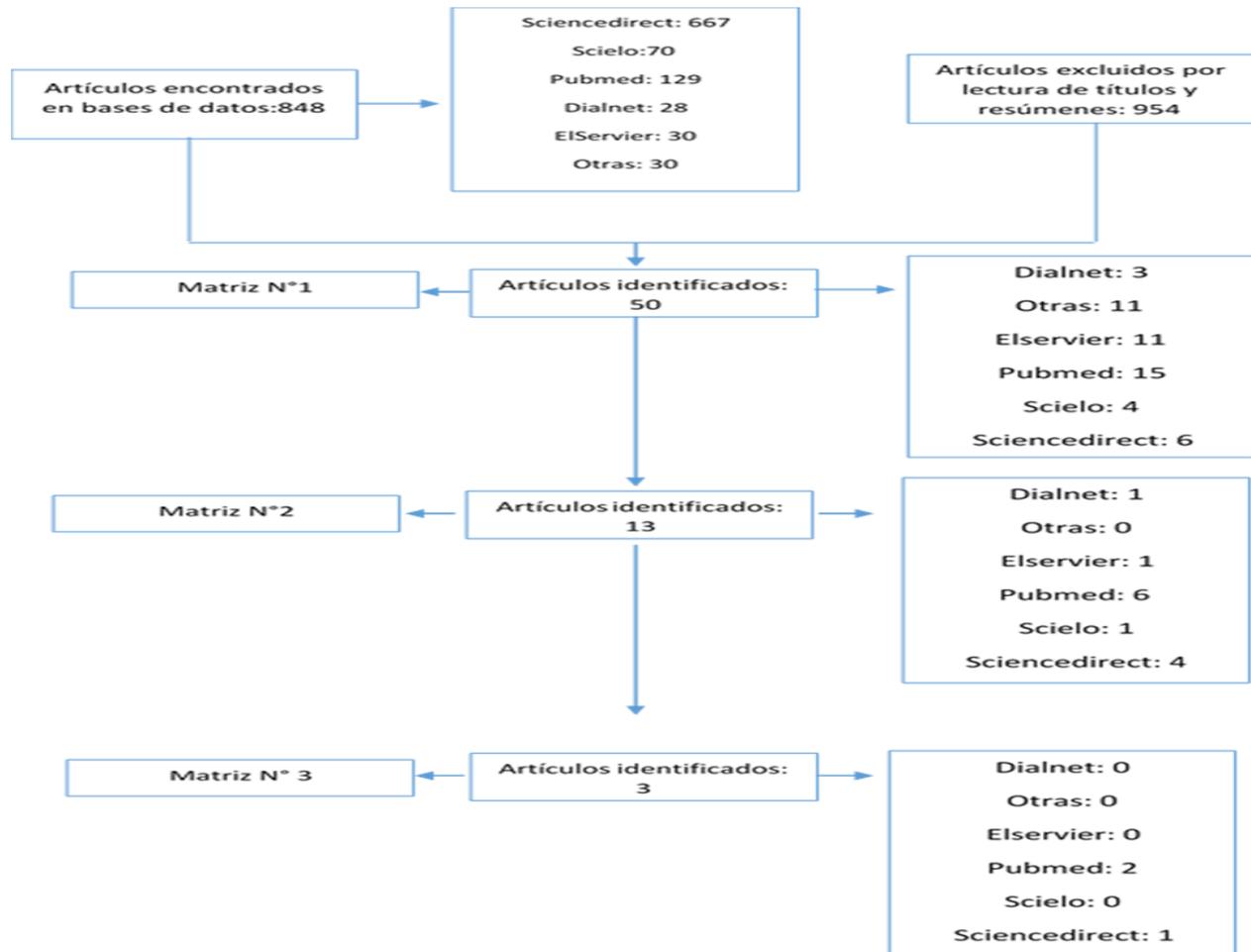
Matriz 3. Finalmente se realiza un proceso de selección identificando un total de 3 artículos y dejando excluidos 47 artículos por no cumplir los criterios de inclusión. (Anexo 1).

Resultados

Dentro del proceso de selección de los artículos que fueron utilizados para este trabajo, se llevó a cabo el diseño de 3 matrices en las cuales se especificó: Título, año de publicación, país, idioma, revista, resumen, metodología, resultados, conclusiones y base de datos. Se realiza diagrama de flujo para la discriminación de los artículos que se seleccionaron.

Gráfico 1. Diagrama de flujo selección de artículo

Análisis y Descripción de Estudios incluidos



Dentro de la búsqueda de artículos, se escogió 3 artículos los cuales cumplieron los criterios de inclusión que se tuvo en cuenta dentro del desarrollo de este trabajo; de los artículos seleccionados 1 pertenece a España (Yagüe, Yagüe, Leukona & Sanz, 2016), 1 pertenecen al Reino Unido (Pourazar, Mirakholi, Hemayattalab & Bagherzadeh, 2017), 1 Estados Unidos (Chen, Fanchiang & Howard, 2018) Luego de la selección de los artículos se realizó un análisis de los resultados donde se evidencia los efectos que tiene la RV como

intervención terapéutica sobre el aprendizaje motor en los niños con PC. A continuación, se realiza una descripción de los artículos y sus respectivos resultados.

- ***Effectiveness of Virtual Reality in Children With Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials (Chen & cols,2018):***

Dentro de este estudio se tuvo en cuenta una comparación intervenciones terapéuticas convencionales e intervenciones con RV, en un grupo de niños de 12 años con diagnóstico principal PC, se tuvo en cuenta las funciones motoras de miembros superiores, control motor y caminar. Dentro de los elementos que emplearon en las intervenciones con RV fueron: Nintendo, Wii, play station y Xbox kinect con una duración en cada una de las sesiones de 20 – 90 minutos con una frecuencia de 1 vez a la semana.

En los resultados de este estudio se reportó incremento en el compromiso cognitivo, en la motivación favoreciendo de esta manera los procesos en el AM por medio de la RV mejorando de esta manera los mecanismos de neuroplasticidad; dado que las intervenciones por medio de RV proporciona en los niños intervenidos adaptación y corrección del movimiento dado a los estímulos exteroceptivos visuales y auditivos los cuales generan un feedback constante dentro de la ejecución de las actividades motoras.

o *Los videojuegos en el tratamiento fisioterápico de la parálisis cerebral (Yagüel & cols, 2015):* Los autores de este artículo realizaron un estudio prospectivo longitudinal, donde desarrollaron un diseño experimental pre y post-intervención en un solo grupo donde participaron 8 alumnos del colegio de integración de motóricos “-Miraflores” de Zaragoza quienes reciben atención fisioterapéutica en dicho centro; dentro de la intervención se utiliza la videoconsola Wii Nintendo y la tabla de equilibrio Wii balance board (WBB) con el juego wii fit. Dentro de los criterios de inclusión se tuvo en cuenta el nivel I o II de Gross Motor Function Classification system (GMFCS) lo cual indica que el niño puede mantenerse en bipedestación sin apoyo sobre la plataforma WBB, también se tuvo en cuenta un puntaje entre 75% - 100% de movilidad en Gross Motor Function Measure (GMFM-88) la cual mide las funciones motoras en los niños. Se tuvo en cuenta el grado de escolaridad de los niños con una edad comprendida entre los 6-12 años.

Se realizó un total de 15 sesiones con una duración de 30 minutos por paciente, la actividad comienza con la creación del Avatar en cada uno de los niños permitiendo un feedback mejorando la motivación e implicación del niño verse representado en “yo” virtual; el uso del Wii fit con el objeto de mejorar el control postural y el equilibrio, luego realizaron la introducción de los datos iniciales como la (edad y altura) para que los datos aportados por el Wii sean reales respecto a los pacientes, la WBB se utiliza para medir las presiones permitiendo la localización del centro de gravedad y la distribución de la carga en los miembros inferiores y el esquema corporal.

Dentro de los resultados que se obtuvieron en el estudio hay una mejoría en el equilibrio, distribución homogénea de las cargas en los miembros inferiores, hay aumento en la satisfacción, también hay mejoría en las estrategias del control postural y equilibrio, también se analizó el efecto de la motivación y la satisfacción dado que la mayoría de los niños prefieren las sesiones con videojuegos respecto a las intervenciones convencionales.

- o ***Use of virtual reality intervention to improve reaction time in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial (Pourazar & cols, 2017)*** El objetivo del estudio es investigar los efectos de un programa de rehabilitación con sistemas de RV En el estudio se tuvo en cuenta niños de 7 – 12 años, se emplea Xbox 360 kinect el cual por medio de sensores rastrea los movimientos tridimensionalmente dentro del espacio del juego, este dispositivo de RV el cual proporciona en tiempo real feedback visual, el cual les permite una representación de su movimiento proyectado en la pantalla, con el fin de corregir el movimiento evitando de esta manera compensaciones en los patrones de movimiento.

Los resultados muestran luego de un entrenamiento de semanas, se observó mejoría en la retroalimentación visual y auditiva mejorando los procesos de AM, dado a que también hay mejoría en la motivación dado que la eficacia de la RV se encuentra relacionada con las acciones dentro del entorno controlado. EL estudio sugiere que entre más inmersiva sea la realidad virtual más eficaz será el niño en diferentes escenarios, por lo cual las intervenciones con RV favorece los procesos de neuroplasticidad cortical dado al incremento en las activaciones de la corteza motora la cual es responsable del rendimiento motor.

Discusión

Dicha revisión documental contó con el análisis de 3 artículos, los cuales cumplieron con los criterios de inclusión descritos, dichos artículos se enfocan en dar a conocer los efectos que tiene la realidad virtual sobre el aprendizaje motor (AM) en niños con parálisis cerebral, la literatura demuestra cómo las intervenciones terapéuticas mediante Realidad Virtual (RV) son implementadas dentro de los procesos de rehabilitación neurológica, evidenciando la interacción del individuo con un ambiente virtual permitiendo la ejecución de movimientos repetitivos los cuales favorecen los procesos de aprendizaje motor puesto que es necesario que dichas acciones estén relacionadas con un fin, teniendo en cuenta la

implementación de diferentes tipos de feedback (táctiles, auditivos, visuales y propioceptivos).

Los diferentes artículos tienen en cuenta la utilización de Wii fit, Nintendo Wii y Wii balance board (WBB) los cuales de acuerdo a los autores favorecen el feedback, la motivación y la satisfacción, siendo elementos importantes para el proceso del AM en niños con PC los cuales dentro de su clasificación se tuvo en cuenta la escala Gross Motor Function Classification (GMFCS) niveles I y II; lo que indica que el niño puede mantenerse en bipedestación sin empleo de apoyo externo (Yagüe & cols, 2015).

El uso de la RV permite el desarrollo de las imágenes motoras las cuales tienen efectos importantes sobre el AM asociándose a la reorganización de la función cerebral y reorganización de mapas neuronales los cuales activan el movimiento imaginado induciendo a la plasticidad neuronal, donde existe un incremento de la excitabilidad cortical sobre las regiones premotoras y motoras de ambos hemisferios cerebrales; favoreciendo los procesos de aprendizaje motor para la ejecución del movimiento (Sartori & cols, 2016).

Por tanto los cambios que se presentan dentro de los procesos de AM en niños con Parálisis Cerebral (PC) por medio de la RV son positivos dado a los resultados y análisis que se tuvo en cuenta dentro de la lectura de cada uno de los artículos seleccionados con relación a las intervenciones con terapia tradicional, dado que el empleo de la realidad virtual permite en los niños tener un entorno controlado que les permita interactuar y ejecutar las diferentes

actividades, mejorando su participación en actividades cotidianas y funcionales; a su vez permite que el niño con PC mejore sus procesos de neuroplasticidad cortical dada a las activaciones de la corteza motora (Morteza,2017) contribuyendo al aprendizaje motor (AM) se evidencia incremento en la motivación dentro de los diferentes escenarios de la RV dado al entrenamiento de imágenes motoras que favorecen el AM , puesto que es un tipo de intervención interactiva entre espacio virtual y el usuario permitiéndole generar un Avatar el cual representa su cuerpo dentro del videojuego, logrando cumplir con los objetivos terapéuticos planteados desde la neurorehabilitación .

Conclusiones

La búsqueda de la información para esta revisión permitió evidenciar la importancia del aprendizaje motor como base de la neurorehabilitación actual, teniendo en cuenta las necesidades y capacidades de los niños con PC permitiendo en ellos una participación más inclusiva frente al desarrollo y ejecución de las diferentes actividades que se plantean a partir del uso de la RV, ya que permite la interacción en un entorno controlado dando la posibilidad de ejecutar las actividades con un objetivo específico, donde el usuario a través del error

permite plantear solución frente a diversas situaciones interactivas logrando una mayor motivación siendo este un elemento importante dentro los procesos del AM .

Por lo cual los sistemas de RV como Xbox, Nintendo Wii, Tablet, entre otros son de fácil adquisición dado a su bajo costo, accesibilidad y variedad en el mercado, por lo cual permite una modificación en cuanto a la frecuencia, duración e intensidad del juego, mejorando la ejecución de tareas ajustando los niveles de funcionalidad de la actividad; diferentes estudios reflejan que la RV favorece; la amplitud de rangos de movimiento, incremento de la fuerza muscular y disminución de las limitaciones en las actividades, restricción en la participación y barreras ambientales. (Chen & cols, 2017), incrementando la motivación y compromiso en los niños durante el juego. De acuerdo (Shumway,1995) el proceso del AM puede explicarse como la búsqueda de una forma de realizar la actividad que surge de la interacción del individuo con la actividad y el entorno, involucrando la reorganización de sistemas de la percepción y de acción relacionado con la actividad.

Se considera fundamental abrir nuevas líneas de investigación que comparen el empleo de sistemas de Realidad Virtual con otros procedimientos terapéuticos convencionales, visto que la RV como método de intervención es altamente efectiva puesto que brinda no solo beneficios en cuanto al funcionamiento motor sino que a su vez brinda beneficios en cuanto a mejorar las capacidades neurocognitivas, puesto que es un método de intervención basado en experiencias, repeticiones y atención constante (Pereira & cols,2011). Aunque la rehabilitación basada en RV es una prometedora herramienta, esta debe ir

acompañada de una supervisión constante y una modificación frecuente de la intervención, evitando situaciones de desmotivación hacia la ejecución de las tareas, especialmente en población pediátrica, donde los procesos de AM son importantes dado al desarrollo de nuevas redes neuronales que favorecen la neuroplasticidad.

Bibliografía

Ana Bonafe M. M. (2013). Aplicación de la realidad virtual en los aspectos motores de la neurorrehabilitación. *Revista de Fisioterapia*, 07-14.

Carlos Bandeira deMello Monteiro, T. M. (2014). Transfer of motor learning from virtual to natural environments in individuals with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities, 2430-2437.*

Chiara Gagliardi, A. T. (2018). Immersive Virtual Reality to Improve Walking Abilities in Cerebral Palsy: A Pilot Study. *Annals of Biomedical Engineering, 1-9.*

DK Ravi, N. K. (2017). Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy, 245-258.*

E Monge, F. M. (2014). Empleo de sistemas de realidad virtual como método de propiocepción en parálisis cerebral: guía de práctica clínica. *Neurología, 550-559.*

Efectos del tratamiento fisioterapéutico con el Wii Balance board en las alteraciones posturales de dos niños con parálisis cerebral. Estudio de caso. (2015). *Revista Ciencias de la Salud, 141-157.*

Effects of anodal transcranial direct current stimulation combined with virtual reality for improving gait in children with spastic diparetic cerebral palsy: A pilot, randomized, controlled, double-blind, clinical trial. (2015). *Clinical Rehabilitation, 1-12.*

- Hemayattalab, R. (2014). Effects of self-control and instructor-control feedback on motor learning in individuals with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities*, 2766-2772.
- Hsiu Ching Chiu, L. A. (2014). Upper limb training using Wii Sports Resort for children with hemiplegic cerebral palsy: a randomized, single-blind trial. *Clinical Rehabilitation*, 1015-1024.
- Jaime Bayona Prieto, E. B. (2011). Neuroplasticidad, Neuromodulación y Neurorrehabilitación: Tres conceptos distintos y un solo fin verdadero. *Salud Uninorte*, 95-107.
- John Van der Camp, B. S. (2017). Explicit and implicit motor learning in children with unilateral cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation*, 1-8.
- Lina Sánchez, J. R. (2016). Prescripción de los programas de realidad virtual aplicados a pacientes con lesión motora de origen neurológico: una revisión sistemática. *Fisiología*, 45-54.
- Maria Virginia Garces Vieiria, J. C. (2014). Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *CES Medicina*, 119-132.

MD Castillo, J. S. (2018). Evaluación Neurofisiológica del Entrenamiento de la Imaginación Motora con Realidad Virtual en Pacientes Pediátricos con Parálisis Cerebral. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 174-179.

Morteza Pourazar, F. M. (2017). Use of virtual reality intervention to improve reaction time in children with cerebral palsy: A randomized controlled trial. *Developmental Neurorehabilitation*, 2-7.

MP Yagüe Sebastian, M. Y. (2015). Los videojuegos en el tratamiento fisioterapéutico de la parálisis cerebral. *Fisioterapia*, 1-8.

Rafael Cabrera, A. M. (2017). Kinect as an access device for people with cerebral palsy: A preliminary study. *International Journal of Human-Computer Studies*, 62-69.

Roberto Cano de la Cuerda, A. M. (2015). Teoría y modelos de control y aprendizaje motor. Aplicaciones clínicas en neurorehabilitación. *Neurología*, 32-41.

Simona Bar-Haim, N. H. (2010). Effectiveness of motor learning coaching in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 1009-1020.

Valeska Gatita, R. C. (2017). Effectiveness of a Nintendo Wii balance board exercise programme on standing balance of children with cerebral palsy: A randomised clinical trial protocol. *Contemporary Clinical Trials Communications*, 17-21.

Yuping Chen, H. F. (2018). Effectiveness of Virtual Reality in Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Physical Therapy*, 63-77.