

Revisión Sistemática: Relación entre la Actividad Física y la Plasticidad Cerebral

REVISIÓN SISTEMÁTICA: RELACIÓN ENTRE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y LA
PLASTICIDAD CEREBRAL

AUTOR

MÓNICA LILIANA MAHECHA MORA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES
PROGRAMA DE PSICOLOGÍA
BOGOTÁ D.C
JUNIO 2020

Revisión Sistemática: Relación entre la Actividad Física y la Plasticidad Cerebral

REVISIÓN SISTEMÁTICA: RELACIÓN ENTRE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y
LA PLASTICIDAD CEREBRAL

AUTOR

MÓNICA LILIANA MAHECHA MORA

DOCENTE ASESOR

ANGELA MARIA POLANCO BARRETO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES
PROGRAMA DE PSICOLOGÍA
BOGOTÁ D.C
JUNIO 2020

Revisión Sistemática: Relación entre la Actividad Física y la Plasticidad Cerebral

Copyright © 2020 por Mónica Liliana Mahecha.

Todos los derechos reservados.

Revisión Sistemática: Relación entre la Actividad Física y la Plasticidad Cerebral

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, Colombia. Junio 2020.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con todo mi profundo amor y gratitud, a mis padres y abuelos por su entrega y dedicación; a mi familia, quienes con su comprensión, apoyo incondicional y amor promovieron el desarrollo de mi carrera y han forjado la persona que soy hasta hoy. A mi Alma Mater, la Corporación Universitaria Iberoamericana, por abrirme sus puertas y permitirme crecer como profesional; a todos y cada uno de mis docentes, porque fomentaron mi formación, conocimientos y han impulsado a la culminación de este proceso por medio de este trabajo.

Agradecimientos

Muy especialmente a mi asesora de tesis, la psicóloga Ángela María Polanco Barreto, por haberme guiado e inspirado a través no solo del desarrollo de este proyecto particular, sino también durante el recorrido de la carrera, su amor infinito y el cultivo del mismo en mi corazón, por esta hermosa profesión.

Resumen

La actividad física, se produce en cualquier momento y puede estar motivada tanto por factores externos como internos, e interviene de diferentes maneras en los procesos internos y externos en la vida del ser humano; la plasticidad cerebral es un proceso complejo, el cual permite la reconstrucción y reestructuración permanente del cerebro y abre paso desde los procesos más básicos hasta los más complejos mediando el aprendizaje de los seres vivos. Así entonces, es un punto de investigación e interés, desde las neurociencias pero más importante desde la psicología, debido a que podemos explicar e intervenir en diferentes fenómenos del comportamiento humano.

Extender la investigación en este campo es de necesario interés para los profesionales en diversas áreas, pero de gran importancia en la psicología, debido a que se pueden desarrollar diversas investigaciones en todos sus campos de aplicación, puesto que los procesos de plasticidad cerebral, son procesos permanentes que intervienen 24/7 en todos los contextos del ser humano y en las distintas etapas del desarrollo.

Por medio de una recopilación documental de estudios existentes, se buscó simplificar la información efectiva y obtenida de la base de datos PubMed Central, definiendo como criterios de inclusión el año de publicación, también debían ser artículos en los cuales se evidenciara de alguna manera una relación entre la actividad deportiva y plasticidad cerebral, otro criterio de inclusión que se tuvo en cuenta fue el idioma, dando preferencia al inglés y el español, considerando entonces como criterios de exclusión el no cumplimiento de las características anteriores.

Palabras clave: Actividad Física y Plasticidad Cerebral.

Abstract

Physical activity occurs at any time and can be motivated by both external and internal factors, and intervenes in different ways in internal and external processes in human life; Brain plasticity is a complex process, which allows the permanent reconstruction and restructuring of the brain and opens the way from the most basic to the most complex processes mediating the learning of living beings. So then, it is a point of research and interest, from the neurosciences but more important from psychology, because we can explain and intervene in different phenomena of human behavior.

Extending research in this field is of interest to professionals in various areas, but of great importance in psychology, since various investigations can be carried out in all its fields of application, since the processes of brain plasticity are processes permanent that intervene 24/7 in all contexts of the human being and in the different stages of development.

By means of a documentary compilation of existing studies, we sought to simplify the effective information obtained from the PubMed Central database, defining the year of publication as inclusion criteria, they should also be articles in which a relationship was evidenced in some way between sports activity and brain plasticity, another inclusion criterion that was taken into account was language, giving preference to English and Spanish, considering then as exclusion criteria the non-compliance with the above characteristics.

Key words: Physical Activity and Brain Plasticity.

Tabla de Contenidos

Introducción	13
Capítulo 1 Descripción General del Proyecto	14
1.1 Planteamiento del Problema	14
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo General.	14
1.2.2 Objetivos Específicos.	14
1.3 Justificación	15
Capítulo 2 Marco de Referencia	17
2.1 Marco Teórico	17
2.1.1 Actividad Física.	17
2.1.2 Plasticidad Cerebral.	18
Capítulo 3 Marco Metodológico	21
3.1 Tipo de Estudio	21
3.2 Población	21
3.3 Procedimiento	21
3.4 Técnicas de recolección de información	22
3.5 Selección de estudios	23
3.6 Proceso de recolección de datos	23
3.7 Medidas de resumen	23
3.8 Síntesis de los resultados	24
3.9 Consideraciones éticas	24

Capítulo 4 Análisis de Resultados	25
Análisis Artículos Actividad Física y Plasticidad Cerebral	28
Discusión	48
Conclusiones	50
Limitaciones	51
Fuentes de financiación	51
Referencias	52
Apéndice	55

Lista de tablas

Tabla 1. Cantidad de artículos publicados por año.	25
Tabla 2. Número de artículos por país, según año de publicación.	26
Tabla 3. Tipo de modelos utilizados en cada investigación, por país.	27
Tabla 4. Resultados individuales cualitativos	29
Tabla 5. Base General	55

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de información revisada para la revisión sistemática. Criterio PRISMA.

Introducción

El presente trabajo se origina a partir del interés por identificar la relación existente entre la práctica de actividad física y la plasticidad cerebral; comprendiendo como la actividad física interviene en los procesos neurobiológicos y como estos median la plasticidad en el cerebro, dando lugar a los eventos que han permitido la supervivencia y adaptación del ser humano hasta el día de hoy, su forma de procesar la información que le transmite su exterior y los comportamientos que en respuesta a esto son emitidos; y en una era donde la práctica de actividades físicas se ha incrementado exponencialmente, es fundamental establecer el campo investigativo ¿qué camino está tomando?, de esta manera el autor estableció una revisión sistemática, la mejor metodología y la más pertinente en la investigación, facilitando así la recopilación de información y permitiendo entender dicha relación.

El análisis metodológico muestra los efectos beneficios que se pueden desprender de la realización regular de actividad física y en etapas avanzadas del desarrollo puede ser un coayuvante en tratamientos en contra del detrimento cognitivo. El fin último, además de evidenciar esas tendencias, es abrir el camino a nuevas investigaciones experimentales que puedan incrementar el conocimiento en esta temática con alta proyección.

Capítulo 1 Descripción General del Proyecto

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad el aumento en la practica de actividad física por parte de las personas de diferentes edades, ha incentivado la curiosidad por parte de la comunidad científica en la búsqueda por conocer los beneficios que la realización de esta, pueda llegar a ofrecer a nivel psicológico y fisiológico en el ser humano y más específicamente en el cerebro, entendiendo y analizando esto, fomentar la actividad física con un propósito encaminado según la población y las necesidades de la misma.

Por lo mismo, la pregunta que se ha generado alrededor de estos dos temas ha sido en gran medida si realmente hay suficiente evidencia a cerca de la relación entre la actividad física y la plasticidad cerebral, pero más importante aún, cual esla tendencia investigativa respecto a esa relación.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General.

Identificar las tendencias investigativas entorno a la relación entre la plasticidad cerebral y la actividad física, a partir de una revisión sistemática de investigaciones publicadas en los últimos diez (10) años, en la base de datos PubMed Central.

1.2.2 Objetivos Específicos.

Definir plasticidad cerebral y actividad física a partir de las investigaciones realizadas los últimos diez (10) años, en la base de datos PubMed Central.

Establecer categorías que permita identificar las tendencias en las líneas de investigación en plasticidad cerebral y actividad física.

Analizar el estado investigativo actual frente a la relación entre la actividad física y la plasticidad cerebral, con base en la declaración PRISMA.

1.3 Justificación

Desde el interés por comprender el funcionamiento del cerebro y mejorar las habilidades, capacidades y procesos mediados por este, hasta proveer mejor calidad de vida en cualquier etapa de la vida, la plasticidad cerebral ha sido tema de gran importancia en la investigación científica, logrando de cierta manera dar explicación a los interrogantes que se suscitan alrededor del cómo se dan los procesos de neurogénesis, regenerativos, de reorganización o de potenciación en el cerebro y cómo se pueden mejorar al cabo del desgaste propio de la edad o de patologías.

Se ha encontrado dentro de la literatura, varios mecanismos que demuestran un impacto positivo de la práctica de actividad física en el cerebro, entre ellos, se evidencia una mejora en la vascularización, la regulación de los factores neurotróficos dependientes del cerebro (BDNF), proteínas encargadas de favorecer la supervivencia de las neuronas, impidiendo por ejemplo que las neuronas diana inicien la apoptosis de manera temprana, y por otro lado, los neurotransmisores como la dopamina (DA), noradrenalina (NE) y la serotonina (5-HT), los cuales son reconocidos por muchas actividades en las cuales son participes, entre estas en particular en la actividad física; por ejemplo, la dopamina (DA) y la serotonina (5-

HT) al ser liberados permiten que la sinapsis se genere con mayor rapidez (Lin & Kuo, 2013).

La actividad física por su lado ha ido en aumento en los últimos años, bajo la premisa del cuidado de la salud “física”, sin darse cuenta, las personas que hacen ejercicio desarrollan mayor regulación emocional, el estrés disminuye y esto en personas que presentan una predisposición al trastorno de depresión mayor según la evidencia, mitiga los síntomas y promueve la plasticidad sináptica y la neuroplasticidad (Phillips, 2017).

A partir de lo anterior, lo cual es sólo una mirada rápida a lo que se encuentra en la literatura, se evidencia una necesidad de establecer esa relación entre la actividad física y procesos biológicos de la plasticidad cerebral, con el fin de dar a conocer esos resultados y poder implementarlos en las diversas áreas en las que la psicología se ha venido desarrollando.

La metodología utilizada fue tomada en cuenta debido a la búsqueda de esa tendencia investigativa, pues es característica de la revisión sistemática reunir y seleccionar la información existente, evaluando y resumiendo de forma crítica todas las evidencias disponibles frente a parámetros como pronósticos, diagnósticos y tratamientos al nivel de una pregunta clínica específica (Moreno, Muñoz, Cuellar, Domancic y Villanueva, 2018).

Capítulo 2 Marco de Referencia

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Actividad Física.

La actividad física es referida como cualquier tipo de movimiento realizado por el cuerpo como resultado de la contracción del sistema músculo esquelético que logre elevar el gasto energético del cuerpo por encima de su estado en reposo (Caspersen et al, citado por Yuede et al, 2018). Acciones como caminar, cultivar, danzar, correr, entre otras pueden concebirse entonces como actividad física, esta a su vez puede clasificarse de diversas maneras, por un lado se encuentra la intensidad, si es aguda o crónica, dentro de la actividad física aguda se considera como caminar o montar bicicleta por un rato y a su vez esta se puede dividir en actividad física diaria normal o ejercicio. Por otro lado, la actividad física crónica, es conocida por ser estructurada y repetitiva, llevado a cabo por un mayor lapso de tiempo, refiriéndose a semanas, meses y años, destinado básicamente a mejorar la salud física y de manera colateral la salud psicológica, este a su vez se puede subdividir en entrenamiento físico y entrenamiento por debajo del ejercicio, la diferencia entre estos dos se basa en que el primero busca aumentar la aptitud física por encima de la de un individuo sedentario, es decir, mejorar resistencia, fuerza, flexibilidad, mientras que el segundo no tiene la suficiente intensidad o duración para cambiar alguna aptitud física (Yuede et al, 2018).

En variadas investigaciones se ha evidenciado la importancia de la actividad física y su relación con diferentes propiedades estructurales y funcionales del cerebro, como el

volumen de la materia gris o corteza cerebral, así como también frente a funciones cognitivas (Erickson et al., 2011) sin dejar de lado los beneficios conocidos a nivel de la salud física, se considera que niños y jóvenes deberían acumular un mínimo de 1 hora diaria, con una intensidad de leve a moderada para un logro en beneficio del fortalecimiento muscular y óseo (Janssen & Leblanc, 2010). Por otro lado, constantes investigaciones han demostrado, como la actividad física posee efectos en la atención de los niños y se encuentra directamente relacionada con la intensidad, la duración y otras características cualitativas de la actividad, así como también la relación de las demandas cognitivas que pueden presentar estas actividades, mejorando el rendimiento escolar de los niños (Schmidt, Benzing & Kamer, 2016).

En los adultos, la realización de actividad física influye directamente con la salud cardiovascular y ahora muy evidentemente en la salud cerebral, debido a que la actividad física promueve la activación del cerebro en tareas ejecutivas o de memoria, se ha encontrado además una mejor integridad de la sustancia blanca y gris en adultos mayores que se han dedicado o han realizado algún tipo de entrenamiento aeróbico (Tseng et al, 2014; Erickson et al, 2010).

2.1.2 Plasticidad Cerebral.

La plasticidad cerebral es entendida como la adaptación funcional del sistema nervioso central (SNC), encargada de reducir los efectos en alteraciones estructurales o fisiológicas por una causa aparente en cualquier etapa del desarrollo, esto es posible a la capacidad de

cambio a nivel estructural y funcional que posee el sistema nervioso, influenciado por factores endógenos y exógenos (Pascual-Castroviejo, 1996).

La base del comportamiento esta modulado por los cambios plásticos de los conjuntos neuronales y se ve reflejado en las respuestas eléctricas del cerebro, esto implica la formación y fortalecimiento de rastros neuronales, dando lugar al aprendizaje adaptativo e inteligente, lo cual es entendido como plasticidad (Partanen, Kujala, Näätänen, Liitola, Sambeth, & Huotilainen, 2013; Bonansco & Fuenzalida, 2016), por otro lado también puede ser concebida como los cambios en el número y eficacia de la sinapsis o cambios en las características neuronales, estos se encuentran mediados por la acción de las neurotrofinas, como el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) o por acción del factor de crecimiento similar a la insulina de tipo I (IGF-I) (Izquierdo, Oliver y Malmierca, 2009).

La investigación en plasticidad ha estado mediada principalmente por las lesiones neurológicas, pero como se expuso anteriormente y si se intentara generalizar, la plasticidad está presente en todo momento desde el inicio mismo de la vida y en el transcurso de la misma, estructurando, modificando, creando y ampliando caminos en las conexiones neuronales. La neuroplasticidad, es reconocida por ser el proceso mediante el cual por medio de la provocación de una variedad de estímulos, se obtiene la modulación de la actividad cerebral, es decir, el cerebro se encarga de compensar las conexiones entre las neuronas lesionadas y reorganizarse, creando nuevas conexiones entre las neuronas no lesionadas (Dąbrowski et al., 2019).

Comúnmente se considera que la pérdida de neuronas es dañina, debido a la pérdida de conexiones, de hecho es necesaria dentro del sistema nervioso, y es un proceso que se da durante el desarrollo del ser humano, esta es una actividad que se intensifica en algunas etapas críticas del desarrollo, específicamente en la postnatal, luego de esta etapa esta actividad, es un poco más limitada (Castrén & Antila, 2017). Entonces bien, siendo la capacidad que tiene el cerebro, en estructura, función y conexiones para reorganizarse, en respuesta a los estímulos intrínsecos y extrínsecos al sujeto, es una variable muy importante frente al desarrollo de investigaciones en cualquier frente de la psicología, entendiendo esto como, una herramienta para generar cambios comportamentales y funcionales, antes, durante y después de una lesión y atendiendo en diferentes contextos.

La plasticidad se da en varios niveles, articulando procesos como la neurogénesis, la plasticidad sináptica, funcional y estructural, modulando las redes neuronales y las funciones de las mismas y realizar distinciones claras entre una y otra es una tarea compleja (Castrén & Hen, 2014; Voss, Nagamatsu, Liu-Ambrose, & Kramer, 2011), así como se ha asociado la conectividad funcional a una mejora en las funciones ejecutivas, por lo tanto, la plasticidad inducida por el ejercicio favorece el cerebro y la ralentización del envejecimiento de este, junto con sus funciones (Voss et al, 2010).

Capítulo 3 Marco Metodológico

3.1 Tipo de Estudio

Bajo la metodología de tipo documental, la cual tiene como finalidad, integrar objetiva y sistemáticamente los resultados de una investigación permitiendo simplificar la información existente (Sanchez-Meca, 2010), a partir de esta revisión sistemática se describirá la relación entre la actividad física y la plasticidad cerebral desde la investigación de los últimos 10 años.

3.2 Población

Para el desarrollo de esta revisión sistemática se tuvieron en cuenta artículos publicados alrededor de investigaciones que tuvieran en cuenta las palabras clave de búsqueda como plasticidad cerebral y actividad física, así como un rango según el año de publicación desde el 2009 hasta el 2020, la base de datos utilizada para la recolección de la información fue Pubmed Central y se tuvieron en cuenta las investigaciones experimentales con grupos representativos mayores a 80 sujetos sin distinción entre los participantes, vinculando de esta manera estudios en sujetos humanos, hombres y mujeres de diferentes grupos etarios, y animales, que en este caso sólo se evidenciaron estudios con ratas de diferentes especies y edades.

Como criterios de exclusión se consideraron estudios realizados antes del 2009, con grupos experimentales menores a 80 participantes o que no fueran estudios experimentales.

3.3 Procedimiento

Este proceso investigativo se desarrolló en diferentes etapas.

En la primera etapa, se dispuso la selección y delimitación de la investigación por medio de los criterios de inclusión y exclusión, definiendo el tiempo de búsqueda de información, se proyectó y creó la matriz general, así como el establecimiento de los objetivos.

La segunda etapa estableció el inicio a la construcción del marco de referencia, así como la selección de artículos que se utilizarían para la revisión sistemática y para estos se diseñó una una matriz de apoyo en la cual se ingresaron y validaron los criterios de la declaración PRISMA.

En la fase final, se llevaron a cabo los respectivos análisis cuantitativos y cualitativos, dando paso así a la consolidación de resultados, elaboración de conclusiones y discusión.

3.4 Técnicas de recolección de información

Para esta revisión se tuvo en cuenta la declaración PRISMA, la cual es un proceso metodológico que describe minuciosamente el paso a paso para la correcta construcción de revisiones sistemáticas y meta-análisis. La fuente de búsqueda de la información se obtuvo de la base de datos PubMed Central, teniendo en cuenta que los artículos debían estar entre los años 2009 y 2020, el inicio de la búsqueda de información se dio el 12 de marzo de 2020 y la fecha de la última búsqueda se realizó el 28 marzo del año 2020.

Por medio del uso de las palabras clave establecidas al inicio de la investigación se establece la estrategia de búsqueda, tomando los artículos y alimentando la matriz general obteniendo información relevante durante el proceso de construcción de la revisión.

3.5 Selección de estudios

Bajo la revisión del título y del resumen, se realizó la selección previa de los artículos, buscando encontrar la información que se ajustara a los criterios de selección, inclusión y exclusión establecidos inicialmente.

3.6 Proceso de recolección de datos

Por medio de una matriz general se extrajo la información relevante de los artículos teniendo en cuenta la siguiente clasificación: título, autor, idioma, país, año, resumen, resultados y conclusiones, en caso de ser una investigación experimental: modelos utilizados (modelos humanos, animales o ambos), características de la población, cantidad de participantes, rango de edad de la población, procedimiento y en la matriz de apoyo se tuvo en cuenta el formato de la declaración PRISMA, para validar las investigaciones experimentales.

3.7 Medidas de resumen

Se tomó en cuenta los resultados de las investigaciones previas encontradas en la base de datos PubMed Central, teniendo en cuenta criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, para realizar la síntesis de la información y encontrar la relación existente entre la plasticidad cerebral y la actividad física, variables preestablecidas por el autor de manera previa en la investigación.

3.8 Síntesis de los resultados

El proceso se realizó por medio de la construcción de tablas y resúmenes, clasificando los resultados de acuerdo a las variables que mostraran las tendencias investigativas que el autor habían previamente delimitado.

3.9 Consideraciones éticas

Por medio de este trabajo se buscó analizar, sistematizar e integrar estudios realizados con anterioridad, mediante la revisión sistemática de 100 artículos correspondientes al tema a tratar, basándose en los principios éticos que rigen la profesión de la psicología bajo el código deontológico, siendo responsable por el tema de estudio, su metodología, así como el análisis de la información, rigurosidad y el correcto manejo de la misma, en su utilización y divulgación en forma objetiva (Ley 1090, 2006).

Capítulo 4 Análisis de Resultados

Se realizó una revisión total de 100 artículos, de los cuales 52 son investigaciones experimentales, de estos se excluyeron por no cumplir con los criterios de inclusión y exclusión o no cumplir los criterios de la revisión PRISMA, eliminando así 36 artículos y 15 se tendrían en cuenta para la revisión sistemática, debido a que tuvieron una población representativa con un número de participantes mayor a 80, no se encontraron artículos repetidos en la recolección inicial de información. El mayor porcentaje de publicación anual se dio en 2011 con 4 artículos (26,67%), seguido de 2010, 2013, 2016 y 2020 con 2 cada año (13,33%) y en un tercer lugar se encuentran los años 2009, 2012 y 2014 con 1 artículo cada uno (6,67%), a excepción de los años 2015, 2017, 2018 y 2019 donde no se hallaron estudios de interés o que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión ya descritos.

Tabla 1. Cantidad de artículos publicados por año.

Año	Total
2009	1
2010	2
2011	4
2012	1
2013	2
2014	1
2016	2

2020	2
Total general	15

La tabla 1 muestra la publicación anual de los artículos utilizados para la revisión. Autoría propia.

En la tendencia investigativa por país, se encontró a Estados Unidos como aquel que ha tenido mayor publicación con un total de 8 artículos (53, 33%) en segundo lugar se encuentra Italia con 2 artículos (6,67%) y en tercer lugar se encuentran Alemania, Australia, China, Francia y Suecia, cada uno con un artículo (6,67%).

Tabla 2. Número de artículos por país, según año de publicación.

Pais	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2020	Total general
Alemania					1				1
Australia								1	1
China					1				1
Estados Unidos	1	2	2	1		1	1		8
Francia			1						1
Italia			1				1		2
Suecia								1	1
Total general	1	2	4	1	2	1	2	2	15

La tabla 2 muestra la publicación anual de los artículos utilizados para la revisión por país. Autoría propia.

En cuanto a los modelos utilizados para las investigaciones, en la tabla 3 se puede ver como Estados Unidos tiene dos investigaciones con modelos animales y 6 con modelos humanos sumando así un 53,33%, Italia tiene 2 artículos de investigaciones realizadas con

modelos humanos siendo un 13,33% y Alemania, Australia, China, Francia y Suecia cada uno con un artículo en el cual se utilizaron modelos humanos con un 6,67%.

Tabla 3. *Tipo de modelos utilizados en cada investigación, por país.*

Modelos Utilizados	Alemania	Australia	China	Estados Unidos	Francia	Italia	Suecia	Total general
Modelos Animales				2				2
Modelos Humanos	1	1	1	6	1	2	1	13
Total general	1	1	1	8	1	2	1	15

La tabla 3 muestra la distribución por país de los modelos utilizados en las investigaciones de los artículos empleados para la revisión por país. Autoría propia.

Análisis Artículos Actividad Física y Plasticidad Cerebral

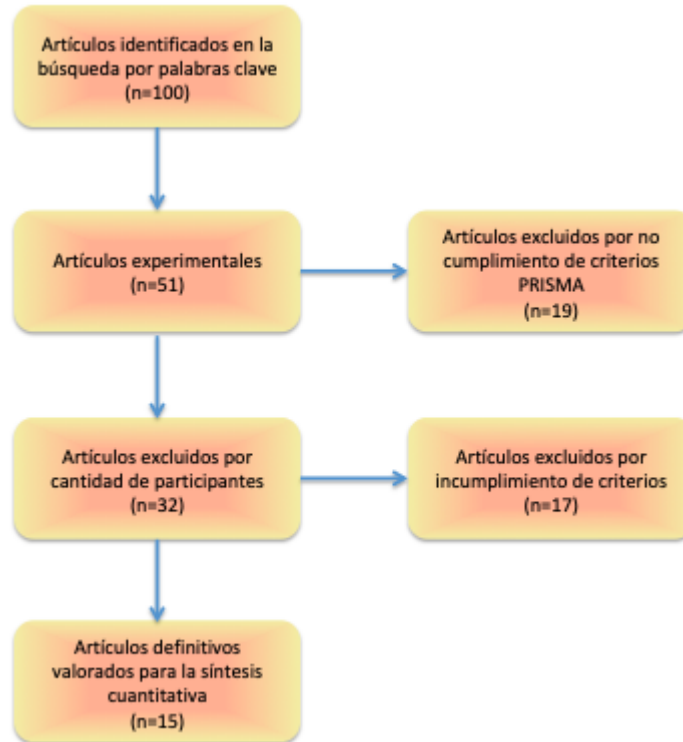


Figura 1. Diagrama de información revisada para la revisión sistemática. Criterio PRISMA.

4.1 Resultados de los estudios individuales

Tabla 4. *Resultados individuales cualitativos*

Referencia	Participantes	Procedimiento	Objetivo	Resultados
Neupert, Lachman & Whitbourne. (2009)	210 hombres y mujeres asignados aleatoriamente en condición de tratamiento (N = 102) o de control (N = 108), con edades entre 60 a 75 años.60 a 75 años.	Consistió en un programa grabado en video de 35 minutos de 10 rutinas de ejercicios realizadas por un líder capacitado, utilizando bandas elásticas (Therabands) para el entrenamiento de resistencia, asociados con actividades funcionales. Todas las rutinas se realizaron tres veces por semana y a aumentar la resistencia. El programa contenía cinco minutos de calentamiento, 25 minutos de fortalecimiento y cinco minutos de ejercicios de enfriamiento.	El presente estudio examinó la autoeficacia y el comportamiento del ejercicio durante y después de un programa de intervención de entrenamiento de fuerza con adultos mayores.	Los resultados del estudio son prometedores porque hubo alguna evidencia de vínculos entre los cambios en la resistencia y los cambios en las creencias sobre el ejercicio, y que los cambios en las creencias predijeron la participación continua en el entrenamiento de resistencia. Identificar y superar las barreras para la participación en el ejercicio es una forma importante de mejorar la calidad de vida, especialmente para los adultos mayores. El presente estudio mostró que las intervenciones con adultos mayores que apuntan a las creencias de resistencia y ejercicio pueden ser una vía fructífera para aumentar la participación en el ejercicio y maximizar el mantenimiento.

Schmidt, Benzing & Kamer. (2016)	98 niños y niñas de quinto grado con edades entre 11.01 y 12.98 años, divididos aleatoriamente a cuatro (4) grupos, así: (1) grupo combinado (actividad física con altas demandas cognitivas), (2) grupo cognitivo (sedentario con altas demandas cognitivas), (3) grupo físico (actividad física con bajas demandas cognitivas), (4) grupo control (sedentario con bajas demandas cognitivas). (45.7% niñas) entre 11.01 y 12.98 años (M = 11.77, SD = 0.41 años).	Durante 3 semanas en cinco mañanas diferentes exactamente en el mismo horario. Grupo Combinado: Realizó actividad física y la misma prueba de números que realizó el grupo cognitivo. Grupo Cognitivo: trabajaron en el ZVT (Oswald y Roth, 1987), un examen de prueba de papel y lápiz, que requiere de atención focalizada, con números del 1-90 que debían unir con una línea en forma ascendente lo más rápido posible. Grupo Físico: realizó 10 minutos de carrera a diferentes velocidades con demandas cognitivas al mínimo. Grupo Control: Escucho historias apropiadas para su edad con bajas demandas cognitivas.	El objetivo del presente estudio fue, por lo tanto, desenredar los efectos separados y / o combinados del esfuerzo físico y el compromiso cognitivo inducido por las interrupciones de la actividad física en la atención de los niños de primaria.	Los resultados mostraron que (1) compromiso cognitivo, pero no esfuerzo físico, tuvo un efecto facilitador en la atención enfocada de los niños y la velocidad de procesamiento y que (2) los cambios en el afecto positivo median la relación entre las calificaciones de compromiso cognitivo percibido, atención y velocidad de procesamiento, respectivamente. (3) La puntuación de precisión no se vio afectada. Estos resultados sugieren que una breve actividad cognitiva atractiva contribuye a la atención de los niños en la escuela.
----------------------------------	--	---	---	--

Erickson, et al (2011)	120 hombres y mujeres de 65 - 67 años, asignados en dos grupos de manera aleatoria grupo de ejercicio aerobico y grupo control.65 - 67	La intervención se llevó a cabo durante 7 semanas, los participantes se aleatorizaron en dos grupos. El grupo de caminata aeróbica (n = 60) se ejercitó en cinta de correr motorizada, caminando a velocidad ligeramente más rápida de su ritmo normal, iniciando 10 minutos y aumentando 5 cada semana hasta alcanzar 40 minutos. Para evaluar la función de memoria, todos los participantes completaron una tarea de memoria espacial computarizada al inicio del estudio, se pidió a los participantes recordaran la ubicación de uno, dos o tres puntos negros, después de un breve retraso, apareció un punto rojo y debían responder si la ubicación del punto rojo coincidía o no con una de las ubicaciones mostradas anteriormente, esto se realizó durante la intervención, después de 6 meses, y nuevamente después de completar la intervención. Se tomaron imágenes de RM al mes de inicio, 6 meses y 2 semanas después de la intervención. Se tomaron muestras de sangre al inicio y al finalizar la intervención para el análisis de BDNF. El grupo de control de estiramiento (n = 60), realizó estiramiento y tonificación y todas las sesiones fueron dirigidas y monitoreadas por líderes de ejercicio capacitados.	El objetivo del estudio es demostrar en un ensayo controlado aleatorio con adultos mayores, que el entrenamiento con ejercicios aeróbicos aumenta el tamaño del hipocampo anterior, lo que lleva a mejoras en la memoria espacial.	Descubrimos que el hipocampo permanece plástico a fines de la edad adulta y que 1 año de ejercicio aeróbico fue suficiente para aumentar el volumen. El aumento del volumen del hipocampo se traduce en una función de memoria mejorada y un mayor BDNF en suero. También demostramos que los niveles de condición física más altos protegen contra la pérdida de volumen del hipocampo. Estos resultados indican claramente que el ejercicio aeróbico es neuroprotector y que comenzar un régimen de ejercicios más adelante en la vida no es inútil para mejorar la cognición o aumentar el volumen cerebral.
------------------------	--	---	--	---

Perini, Bortoletto, Capogrosso, Ferttonani & Miniussi. (2016)	88 hombres entre 22.9 - 25.2 años, asignados aleatoriamente en dos grupos (ejercicio y control). 22.9 - 23.0 ± 2.2	En la primera sesión se diligenció el Cuestionario internacional de actividad física (IPAQ, Formulario corto de los últimos 7 días; www.ipaq.ki.se) para evaluar el nivel individual de participación en la actividad física. Se tomaron mediciones antropométricas, frecuencia cardíaca (FC) y presión arterial (PA). En la segunda sesión los participantes iniciaron con un primer bloque de la tarea de aprendizaje, luego pedalearon a 60 revoluciones por minuto durante 30 minutos, el grupo de ejercicio que trabajara al 70% de la FC máx, que correspondía a 157 ± 44 W y el grupo de control pedaleó a 20 W, inmediatamente después del final del ejercicio, los participantes realizaron seis bloques adicionales de tareas de aprendizaje en aproximadamente 30 minutos.	En el presente estudio, utilizamos una muestra de sujetos varones jóvenes para evaluar los efectos que tiene un solo episodio de ejercicio aeróbico en el aprendizaje.	Descubrimos que una sola sesión de ejercicio aeróbico facilitó los mecanismos básicos de aprendizaje, lo que sugiere que la actividad física, al menos de intensidad moderada, podría promover la plasticidad cerebral en sujetos varones jóvenes en áreas motoras y no motoras. Además, una sola sesión de ejercicio físico aumenta la conectividad funcional en redes cerebrales específicas.
---	--	--	--	---

Voss, et al (2010)	97 hombres y mujeres, jóvenes y adultos mayores, con edades entre 18 y 35 años / 55 y 80 años, asignados aleatoriamente. 18 y 35 / 55 y 80 años	Los participantes debieron realizar previo a la intervención el Cuestionario de Handedness de Edimburgo (Oldfield, 1971), y haber obtenido un puntaje ≥ 51 en el Mini-Mental Status Exam modificado (mMMSE, Stern et al., 1987), así como también puntaje < 3 en la Escala de Depresión Geriátrica (GDS)) (Sheikh y Yesavage, 1986) y completar una sesión simulada de resonancia magnética, en la que fueron evaluados por su capacidad para completar un experimento en un entorno de resonancia magnética, para luego sí completar una serie de RM estructurales y funcionales. Se realizaron cuatro tareas (TArea de dígitos, memoria de trabajo espacial, cambiar de tarea y tarea de clasificación de tarjetas de Winsconsin) se usaron para evaluar los procesos de memoria verbal a corto plazo, memoria de trabajo y control ejecutivo, con la capacidad de avance y retroceso. Para el programa de caminata, un líder de ejercicio capacitado supervisó todas las sesiones. Los participantes comenzaron caminando durante 10 minutos y aumentaron la duración de la caminata semanalmente en incrementos de 5 minutos hasta alcanzar una duración de 40 minutos en la semana siete y para el programa de flexibilidad,	Ofrecer una nueva visión del papel de la aptitud aeróbica para atenuar la disfunción cerebral relacionada con la edad.	Los resultados mostraron que el entrenamiento aeróbico mejoró la eficiencia funcional del cerebro en reposo en las redes cognitivas de alto nivel. Un año de caminata aumentó la conectividad funcional entre los aspectos de las cortezas frontal, posterior y temporal dentro de la red de modo predeterminado y una red ejecutiva frontal, dos redes cerebrales centrales para la disfunción cerebral en el envejecimiento. Por lo tanto, el estudio proporciona la primera evidencia de la plasticidad funcional inducida por el ejercicio en sistemas cerebrales a gran escala en el cerebro que envejece, utilizando técnicas de conectividad funcional, y ofrece una nueva visión del papel de la aptitud aeróbica para atenuar la disfunción cerebral relacionada con la edad.
--------------------	---	---	--	--

tonificación y control de equilibrio, un líder capacitado dirigió las sesiones, los participantes participaron en cuatro ejercicios de tonificación muscular utilizando pesas o bandas de resistencia, dos ejercicios diseñados para mejorar el equilibrio, una secuencia de yoga y un ejercicio de su elección. Para mantener el interés, se introdujo un nuevo grupo de ejercicios cada 3 semanas.

<p>Coubard, Duretz, Lefebvre, Lapalus & Ferrufino (2011)</p>	<p>110 hombres y mujeres de 59.5 - 89.2 años, asignados aleatoriamente a uno de tres grupos. 59.5 - 89.2</p>	<p>Todos los grupos se sometieron a tres pruebas de lápiz y papel (problemas de palabras aritméticas, prueba de Stroop y prueba de tarjetas de cambio de reglas) antes y después de la intervención. La capacitación fue realizada por instructores profesionales y supervisada por un maestro senior, cada uno en su especialidad (CD, prevención de caídas o Tai Chi Chuan). La frecuencia de todos los programas fue una vez a la semana, y cada sesión duró 1 h. La sesión de danza contemporánea estuvo centrada en la improvisación que invita a los participantes a producir en lugar de reproducir o repetir movimientos. El entrenamiento de prevención de caídas enfatizó el desarrollo del equilibrio y las extremidades inferiores. El arte marcial chino tradicional, Tai Chi Chuan, enfatiza el desarrollo de la energía interna y de la fuerza dinámica (jing), y desarrolla el equilibrio, la calma y la atención concentrada, se practicó individualmente y en parejas para ejercicios que requieren interacción, como empujes manuales.</p>	<p>Este estudio buscó examinar el impacto de la improvisación de la danza contemporánea (CD) en el control atencional de los adultos mayores, en comparación con otros dos programas de entrenamiento motor, prevención de caídas y Tai Chi Chuan.</p>	<p>Los resultados indicaron que el CD mejoró el cambio pero no la configuración o la supresión de la atención. Por el contrario, ni la prevención de caídas ni el Tai Chi Chuan mostraron ningún efecto. Sugerimos que la improvisación de CD funciona como un entrenamiento para el cambio, induciendo plasticidad en la atención flexible.</p>
--	--	---	--	--

Schmidt-Kassow, et al (2013)	105 mujeres con edades entre los 18 y 30 años	Inicialmente el nivel de actividad física se midió con el Cuestionario de actividad física de Friburgo. El grupo (relax) físicamente inactivo aprendieron nuevas palabras después de descansar en una silla durante treinta minutos. Los participantes activos (post) realizaron ejercicio en un ergómetro de ciclismo durante treinta minutos antes de aprender nuevas palabras y el grupo simultaneo (sim) hizo ejercicio en el ergómetro de ciclismo mientras aprendían las nuevas palabras. La tarea de aprendizaje de vocabulario se realizó durante treinta minutos. Al finalizar las sesiones los grupos que realizaron actividad física se duchó para posteriormente realizar la recolección de sangre en pro de la medición de BDNF.	El objetivo es evaluar si el ciclismo ergométrico ligero a moderado durante la codificación del vocabulario mejora el recuerdo posterior en comparación con la codificación durante el descanso físico y la codificación después de estar físicamente activo.	Encontramos un mejor rendimiento de la prueba de vocabulario para sujetos que estaban físicamente activos durante la fase de codificación en comparación con los sujetos sedentarios. Las pruebas post hoc revelaron que este efecto estaba particularmente presente en los artistas de bajo rendimiento inicial. El BDNF en suero y el genotipo BDNF no tuvieron en cuenta el resultado actual. Nuestros datos indican que la actividad física simultánea de leve a moderada durante la codificación, pero no antes de la codificación, es beneficiosa para la recuperación posterior de nuevos elementos.
------------------------------	---	---	---	---

<p>Fertonani, Pirulli & Miniussi. (2011)</p>	<p>107 hombres y mujeres con edades entre los 19 y 48 años. 19 - 48 años</p>	<p>Se aplicó estimulación a las áreas visuales del cerebro en un grupo de voluntarios mientras realizaban una tarea de discriminación de orientación, el grupo de control fue estimulado en el vértice. En la tarea ODT (tarea de discriminación de orientación), los participantes tenían que decidir si el estímulo presentado estaba inclinado en sentido horario o antihorario en relación con el estímulo presentado anteriormente. Se pidió a los sujetos que completaran cinco bloques de 128 ensayos cada uno. Las estimulaciones fueron administradas por un estimulador accionado por batería (Eldith-Plus, NeuroConn) a través de un par de electrodos de esponja empapados en solución salina. En el experimento las estimulaciones se aplicaron durante 4 min durante cada uno.</p>	<p>El objetivo principal del presente estudio fue verificar la posibilidad de inducir efectos de plasticidad diferenciales utilizando dos enfoques tES [es decir, estimulación de corriente continua (tDCS) y estimulación de ruido aleatorio (tRNS)] durante la ejecución de una tarea de aprendizaje de percepción visual.</p>	<p>Los resultados confirmaron la eficacia de hf-tRNS sobre la corteza visual para mejorar el rendimiento conductual y mostraron su superioridad en comparación con otros tES. Llegamos a la conclusión de que el mecanismo de acción de tRNS se basó en repetidas estimulaciones subliminales, que pueden prevenir la homeostasis del sistema y potenciar la actividad neuronal relacionada con la tarea. Este resultado destaca el potencial de tRNS y avanza nuestro conocimiento sobre los enfoques de inducción de neuroplasticidad.</p>
--	--	--	--	--

Erickson, et al. (2010)	142 hombres y mujeres con edades entre los 59 y 81 años	<p>Todos los participantes fueron evaluados para detectar demencia con el examen de estado mental mini revisado y modificado (Kukull et al., 1994), se les realizó además un estudio de RM para descartar algún trauma anterior, así como para la segmentación y análisis volumétrico del hipocampo izquierdo y derecho y del núcleo caudado. Todos los participantes completaron una tarea de memoria espacial computarizada aproximadamente 1 semana antes de la sesión de RM. Primero, apareció un punto de mira de fijación durante 1 segundo, y los participantes recibieron instrucciones de mantener la vista en el punto de mira. Después de la fijación, aparecieron uno, dos o tres puntos negros en ubicaciones aleatorias en la pantalla durante 500 ms. Los puntos se eliminaron de la pantalla durante un período de 3 s. Durante este tiempo, los participantes recibieron instrucciones de tratar de recordar la ubicación de los puntos negros presentados anteriormente. Al final del retraso de 3 s, apareció un punto rojo en la pantalla en cualquiera de las mismas ubicaciones que los puntos objetivo (condición de coincidencia) o en una ubicación diferente (condición no coincidente). Los participantes tuvieron 2 segundos para responder al punto rojo presionando</p>	<p>El objetivo de este estudio fue demostrar si las reducciones relacionadas con la edad en los niveles séricos de BDNF estarían relacionadas con la contracción del hipocampo y los déficits de memoria en adultos mayores.</p>	<p>Nuestros resultados identifican el BDNF en suero como un factor significativo relacionado con la contracción del hipocampo y la disminución de la memoria en la edad adulta tardía. Descubrimos que el aumento de la edad se asociaba con volúmenes de hipocampo más pequeños, niveles reducidos de BDNF en suero y un rendimiento de memoria más pobre. Los niveles más bajos de BDNF se asociaron con hipocampos más pequeños y peor memoria, incluso cuando se controla la variación relacionada con la edad. En un análisis exploratorio de mediación, el volumen del hipocampo medió la disminución de la memoria espacial relacionada con la edad y el BDNF medió la disminución del volumen del hipocampo relacionado con la edad. El volumen del núcleo caudado no estaba relacionado con los niveles de BDNF o el rendimiento de la memoria espacial.</p>
-------------------------	---	---	--	---

una de dos teclas en un teclado estándar, X para una prueba no coincidente o M para prueba de coincidencia.

Kobilo, et al. (2011)	88 ratones hembra de 5 semanas	<p>En un ambiente enriquecido con conjuntos de túneles reorganizables, trozos de madera, ijlúes, bolas de arrastre y chozas en las que los ratones podían treparse. Los dispositivos de enriquecimiento se reorganizaron cada dos semanas. Todos los ratones tenían acceso ilimitado al agua y a la comida estándar para roedores. Durante los primeros 12 días del estudio, los ratones recibieron dosis únicas diarias de bromodeoxiuridina (BrdU, 50 µg / g de peso corporal, intraperitoneal). El día 13, un subconjunto de ratones (n= 5 de cada grupo) se sacrificó para analizar la proliferación celular. Los ratones restantes continuaron viviendo en sus respectivas condiciones experimentales durante un total de 30 días, hasta el día 43 para medir la supervivencia y diferenciación celular. Los ratones se perfundieron con solución salina al 0,9%, y el tejido cerebral se eliminó rápidamente, el hipocampo se disecó y se congeló en hielo seco. El tejido se almacenó a -80 ° C para la posterior extracción de proteínas para cuantificar los niveles de péptido BDNF maduro en el hipocampo.</p>	<p>El presente estudio tiene como objetivo diferenciar directamente entre los efectos del entorno enriquecido (EEO), la actividad física (RUN) y la combinación de enriquecimiento y funcionamiento (EER).</p>	<p>Se demostro que correr es el factor crítico para estimular la neurogénesis del hipocampo adulto y mejorar los niveles de péptidos BDNF maduros. Además, el enriquecimiento en ausencia de carrera no aumenta la neurogénesis del hipocampo adulto o los niveles de BDNF en el hipocampo. Se mejoró la adaptación de campo abierto en todos los grupos en comparación con los controles, pero más aún en los grupos que incluyeron la ejecución. Estos hallazgos sugieren que el enriquecimiento y el ejercicio son intervenciones funcionales distintas.</p>
-----------------------	--------------------------------	--	--	---

Broadhouse, et al. (2020)	100 hombres y mujeres con edad >=55 años, asignados aleatoriamente a cuatro grupos de entrenamiento con combinación de resistencia progresiva de alta intensidad y entrenamiento cognitivo computarizado.>=55 años	Combinación de resistencia progresiva de alta intensidad y entrenamiento cognitivo computarizado (PRT + CCT), (2) PRT + Entrenamiento cognitivo computarizado simulado, (3) CCT + Entrenamiento de estiramiento y tonificación simulado y finalmente, (4)) Entrenamiento cognitivo simulado físico + simulado (SHAM + SHAM). Se realizaron pruebas físicas, metabólicas y una batería de pruebas neuropsicológicas, así como evaluaciones de MRI al inicio del estudio, 6 meses y 18 meses desde el inicio (Fig. 1). Además, el genotipado para el alelo ε4 del polimorfismo de la apolipoproteína E (APOE-e4) se realizó al inicio del estudio. Los detalles completos que describen el ensayo SMART se han informado previamente (Gates et al., 2011).	El objetivo de este estudio fue investigar el impacto neuroestructural y cognitivo a largo plazo del ejercicio de resistencia en el deterioro cognitivo leve (DCL)	Esta investigación mostró que las subáreas del hipocampo particularmente susceptibles a la pérdida de volumen en la enfermedad de Alzheimer (EA) están protegidas por el ejercicio de resistencia hasta un año después del entrenamiento.
---------------------------	--	---	--	---

<p>Nilsson, et al. (2020)</p>	<p>97 adultos mayores, hombres y mujeres de 65 a 75 años.</p>	<p>Adultos mayores sanos completaron una intervención conductual de 12 semanas que incluía ejercicio físico inmediatamente antes del entrenamiento cognitivo, ejercicio físico inmediatamente después del entrenamiento cognitivo, solo ejercicio físico o solo entrenamiento cognitivo. La fase de intervención duró 12 semanas con visitas de entrenamiento cada dos días de la semana. La intervención asignada también se realizó como parte de la evaluación BDNF. Todas las sesiones de entrenamiento comenzaron con 15 minutos de descanso sentado, con el objetivo de limitar la actividad física previa como una posible fuente de variación. Las sesiones de capacitación se realizaron en grupos de un máximo de seis participantes y se llevaron a cabo entre las 08:00 y las 12:30, con un tiempo de capacitación constante para cada participante durante la intervención. La fase previa y posterior a la prueba se completaron la semana anterior y posterior a la intervención e incluyeron una evaluación cognitiva exhaustiva, pruebas de estado físico, mediciones del acelerómetro.</p>	<p>El objetivo fue demostrar que el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) es esencial para la plasticidad dependiente de la experiencia y aumenta después del ejercicio físico.</p>	<p>Los resultados mostraron que la cognición se beneficiaría más del entrenamiento cognitivo cuando es precedido en lugar del ejercicio físico seguido y que la relación entre los aumentos inducidos por el ejercicio en el BDNF periférico y el resultado del entrenamiento cognitivo sería mayor cuando el entrenamiento cognitivo es precedido por el ejercicio físico. Los mayores incrementos de BDNF en plasma se asociaron con mayores ganancias de entrenamiento cognitivo en paradigmas de tareas entrenadas, pero solo cuando tales aumentos precedieron al entrenamiento cognitivo. El resultado promedio del entrenamiento cognitivo no difirió según el orden de intervención. El estudio proporciona el primer soporte empírico para un papel crítico pero ventajoso para los aumentos posteriores al ejercicio en el BDNF periférico para el aprendizaje a nivel interindividual en adultos mayores.</p>
-------------------------------	---	--	---	--

Wei, et al. (2013)	80 hombres y mujeres de edades entre 52 y 60 años.52 - 60 años	Utilizando resonancia magnética de alta resolución a 22 practicantes de Tai Chi Chuan (TCC), antes de las sesiones de resonancia magnética, los participantes completaron una Prueba de red de atención (ANT), que se considera como la prueba de flanqueo para medir diferentes aspectos conductuales de la atención, incluidas las alertas, la orientación y la atención ejecutiva basadas en la teoría de la Red de atención. Los participantes se sentaron en 65 cm frente a una pantalla de computadora. Se presentaron estímulos y se recogieron respuestas con E-prime Software 2.0. Los participantes recibieron instrucciones de responder de la manera más rápida y precisa posible a un estímulo objetivo que se presentó en el centro de una fila horizontal con cinco estímulos.	El objetivo fue examinar los correlatos anatómicos subyacentes de la práctica de Taichi a largo plazo en dos niveles diferentes de especificidad regional.	Los profesionales de Tai Chi Chuan (TCC), en comparación con los controles, mostraron una corteza significativamente más gruesa en la circunvolución precentral, surco de la ínsula y surco frontal medio en el hemisferio derecho y circunvolución temporal superior y surco occipitotemporal medial y surco lingual en el hemisferio izquierdo. Además, encontramos que la corteza más gruesa en el surco occipitotemporal medial izquierdo y el surco lingual se asoció con una mayor intensidad de la práctica de TCC. Estos hallazgos indican que la práctica de TCC a largo plazo podría inducir un cambio estructural regional y también sugiere que TCC podría compartir patrones similares de correlatos neuronales con la meditación y el ejercicio aeróbico.
--------------------	--	---	--	---

Weinstein, et al. (2012)	142 hombres y mujeres con edades entre los 58 y 81 años.58 - 81 años	<p>La tarea Stroop es una prueba clásica de dos componentes clave de la función ejecutiva: atención y control inhibitorio (MacLeod, 1991 , 1992). En esta tarea, los participantes nombraron el color de tinta en el que se imprimió una palabra presionando uno de los tres botones. En una cinta de correr motorizada dentro de las dos semanas posteriores a la sesión de prueba cognitiva, los participantes caminaron a una velocidad ligeramente más rápida que su ritmo normal de caminata (aproximadamente 3 mph) con incrementos de grado crecientes del 2% cada dos minutos, expirando muestras de aire a intervalos de 30 segundos. La prueba continuó hasta que hubo evidencia objetiva de que el VO 2 se había alcanzado el máximo o el participante terminó voluntariamente la prueba debido al agotamiento. La resonancia magnética se realizó dentro de las 2.5 semanas de la evaluación cognitiva inicial.</p>	<p>El objetivo de este estudio fue examinar si la asociación entre los niveles más altos de aptitud aeróbica y la función ejecutiva elevada estaba mediada por un mayor volumen de materia gris en la corteza prefrontal.</p>	<p>Los resultados mostraron que los niveles más altos de condición física se asociaron con (a) un mejor rendimiento en las tareas Stroop y SPWM, y (b) un mayor volumen de materia gris en varias regiones, incluida la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC). El volumen de la circunvolución frontal inferior derecha y la circunvolución precentral mediaron la relación entre CRF y la interferencia de Stroop, mientras que un conjunto de regiones no superpuestas bilateralmente en la corteza prefrontal dorsolateral medió la asociación entre la precisión de aptitud física cardiorespiratoria (CRF) y memoria de trabajo espacial (SPWM). Estos resultados sugieren que regiones específicas de la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC) se relacionan diferencialmente con la inhibición y la memoria de trabajo espacial. Por lo tanto, el estado físico puede influir en la función cognitiva al reducir la atrofia cerebral en áreas específicas en adultos mayores sanos.</p>
--------------------------	--	--	---	--

<p>Speisman, Kumar, Rani, Foster & Ormerod. (2013)</p>	<p>344 ratones machos de 18 meses de edad, asignados a un grupo corredor y un grupo control 18 meses</p>	<p>Las ratas fueron asignadas aleatoriamente al corredor o grupo de control. Las ratas de control se mantuvieron individualmente en jaulas de laboratorio estándar con acceso a alimentos y agua durante las 18 semanas de duración del experimento, mientras que los corredores fueron condicionados a correr por alimentos. Por lo tanto, las ratas corredoras se alojaron individualmente en una cámara que contenía una rueda, en la que podían correr por alimentos ilimitados. Un programa informático (Versión 3.02, Coulbourn Instruments, Allentown, PA) registró las rotaciones de las ruedas y se programó para administrar gránulos de alimentos de 45 mg. Cada rata fue entrenada y probada en un tanque de laberinto de agua negra, a partir de la 13 semana del experimento, las ratas fueron entrenadas en la prueba de plataforma visible, la cual sobresalía 1,5 cm de la superficie del agua y tres días después se les entreno en la prueba de la plataforma oculta, a 1,5 cm por debajo del agua. Luego sacrificaron para obtener tejido hipocampal y evaluar el número total de células nuevas.</p>	<p>El objetivo era probar si el ejercicio diario modula las citocinas inmunes y neuroinmunes, el comportamiento dependiente del hipocampo y la neurogénesis del hipocampo en ratas machos.</p>	<p>El ejercicio diario aumentó la neurogénesis y mejoró las puntuaciones del índice de discriminación del laberinto de agua, nuestros resultados sugieren que el ejercicio diario potencialmente mejora la cognición en ratas ancianas al modular la neurogénesis del hipocampo y la señalización de citocinas inmunes y neuroinmunes.</p>
--	--	---	--	--

4.1.1 Síntesis de los resultados

Los resultados generales sobre la investigación alrededor de la relación entre la actividad física y la plasticidad cerebral han sido bien documentados, se ha descubierto que el hipocampo permanece plástico hasta fines de la edad adulta (Erickson et al, 2011) y la realización de actividad física desde una única sesión, pasando por una caminata de un tiempo aproximado de 40 a 60 minutos, la práctica de danza contemporánea o Tai Chi Chuan, muestran cambios significativos en la función cognitiva especialmente asociados a la memoria, esto se debe a un mayor nivel de factor neurotrófico derivado del cerebro conocido como BDNF, por su siglas en inglés; también un aumento significativo en el tamaño del hipocampo, estos dos han sido asociados a una alta ganancia en el entrenamiento cognitivo, sobre todo en los adultos mayores debido a que en la vejez el tamaño del hipocampo y los niveles en plasma de BDNF se van reduciendo lo cual ha sido asociado al deterioro de la memoria y otros deterioros cognitivos por la falta de neuro protección a nivel celular.

Se ha sugerido que la actividad física previa al aprendizaje y posterior a este, mejora la conectividad funcional entre la corteza frontal, posterior y temporal, ofreciendo así una nueva perspectiva frente a la actividad aeróbica a inicios tardíos en la actividad humana, pero en niños y adultos jóvenes también se encontró mejoras en los mecanismos básicos del aprendizaje, mejoras en el rendimiento verbal y conductual, potenciando así la actividad neuronal asociada a tareas específicas.

La actividad física diaria, demostró también en investigaciones realizadas con modelos animales, las mejoras en las discriminaciones frente a actividades cognitivas específicas, así como también se observó neurogenesis en el hipocampo y mejora los niveles de péptidos BDNF (Kobilo, 2011; Speisman, Kumar, Rani, Foster y Ormerod, 2014), esto muy parecido a lo observado en las investigaciones realizadas con humanos, lo cual llevaría a pensar en la actividad física como un extensor y promotor del mantenimiento en las funciones neurocognitivas desde inicios hasta finales de la vida.

La actividad física regular ha sido utilizada como tratamiento de enfermedades psiquiátricas, recuperación de lesiones cerebrales y el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas; como por ejemplo se ha demostrado que en pacientes con Enfermedad de Parkinson en estadios de leve a moderado, la realización de actividad física mejora significativamente la ejecución de movimientos simples a complejos, en parte por la modulación directa de los niveles de DA y la protección de las células DA contra ataques tóxicos sino también, éstas son atribuidas en gran medida al papel del BDNF, por otro lado se ha relacionado con aumento en los niveles de 5HT, DA en el mesencéfalo, cuerpo estriado, hipocampo e hipotálamo y los niveles de NE disminuyen (Lin & Kuo, 2013), afectando positivamente funciones fisiológicas y homeostáticas.

Discusión

En esta revisión sistemática se incluyeron 15 estudios experimentales aleatorizados y controlados, los cuales fueron realizados en humanos y en animales, estos estudios cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión establecidos al inicio de la investigación.

Los estudios buscaron evidencias frente a los cambios a nivel de plasticidad cerebral que se presentaba en el cerebro a raíz de la práctica de actividad física, se encontraron diferentes tipos de ejercicios en los estudios con humanos, los cuales en su mayoría eran adultos mayores y la manera de evaluar procesos básicos era la realización de tareas de atención y memoria. En los modelos animales se utilizó el correr en la rueda y el modo de evaluación frente a procesos cognitivos básicos era el laberinto de agua.

Para la evaluación de cambios estructurales en los humanos se realizaron mayoritariamente pruebas sanguíneas para la medición de los niveles séricos de BDNF y la realización de resonancias nucleares magnéticas para la evaluación del tamaño del hipocampo y estructuras circundantes, mientras que en los animales el proceso fue la decapitación luego del estudio, bajo los protocolos éticos establecidos y así la obtención de medidas y peso del cerebro, así como de las estructuras del sistema límbico.

Es relevante destacar la existencia de una homogeneidad en los resultados y la tendencia investigativa se encuentra en la mejora cognitiva de los adultos mayores, teniendo en cuenta que en algunas investigaciones se evidenció la mejora en relación a enfermedades como el Parkinson y el Alzheimer (Lin & Kuo, 2013; Kandola, Hendrikse, Lucassen, &

Yücel, 2016; Erickson et al, 2010; Broadhouse et al, 2020; Weinstein, 2012, Schmidt-Kassow et al, 2013).

También es necesario resaltar, como el BDNF ha sido de vital importancia en las investigaciones que han sido tenidas en cuenta en esta revisión, debido a su importancia como principal factor neurógeno y neurotrófico, evidenciándose un aumento en los niveles séricos luego de la realización de actividad física, lo cual tiene relación con el aumento del volumen del hipocampo, siendo esta, una de las estructuras más ricas en BDNF, lo cual se encontraría relacionado con las mejoras a nivel de memoria y favorecimiento del aprendizaje dependiente de las funciones cognitivas (Erickson et al, 2011; Perini, Bortoletto, Capogrosso, Fertoni & Miniussi, 2016; Erickson et al, 2010; Kobil, Liu, Gandhi, Mughal, Shaham & Praag, 2011; Nilsson, Ekblom, Ekblom, Lebedev, Tarassova, Moberg & Lövdén, 2020).

Finalmente, a nivel general se evidencia una relación benéfica entre la realización de actividad física y la plasticidad cerebral, hallando en los resultados mejoras a nivel de procesos cognitivos en mayor medida a nivel de memoria y atención, más allá de lo visualmente evidente a nivel físico y psicológico.

Conclusiones

Evidentemente, la actividad física provee un efecto benéfico a nivel de la plasticidad cerebral, lo cual ha sido demostrado en el cerebro adulto, pero se considera necesario la ampliación en investigaciones experimentales con poblaciones jóvenes y comprender como los efectos del ejercicio moderado afecta el comportamiento, aprendizaje y otras modulaciones que se evidenciaron en las investigaciones utilizadas en esta revisión.

La articulación de los beneficios generados por la actividad física pueden proveer otras salidas o medios interventivos en problemáticas de las poblaciones jóvenes y a largo plazo entrarán en conjunción con los beneficios encontrados en la etapa adulta y adulta mayor.

Limitaciones

Se debe tener en cuenta que los artículos revisados pertenecen a una sola base de datos por iniciativa propia del autor sin que está sea considerada sesgo en la investigación, otra limitación dentro del ejercicio se ve reflejado a los participantes empleados en las investigaciones debido a que muchas de ellas no mostraban un grupo representativo.

Fuentes de financiación

No se contó con ninguna fuente financiación.

Referencias

- Bonansco, C., & Fuenzalida, M. (2016). Plasticity of Hippocampal Excitatory-Inhibitory Balance: Missing the Synaptic Control in the Epileptic Brain. *Neural plasticity*, 2016, 8607038. <https://doi.org/10.1155/2016/8607038>
- Broadhouse, K. M., Singh, M. F., Suo, C., Gates, N., Wen, W., Brodaty, H., et al. (2020). Hippocampal plasticity underpins long-term cognitive gains from resistance exercise in MCI. *NeuroImage. Clinical*, 25, 102182. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2020.102182>
- Castrén, E., & Antila, H. (2017). Neuronal plasticity and neurotrophic factors in drug responses. *Molecular psychiatry*, 22(8), 1085–1095. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.61>
- Castrén, E., & Hen, R. (2013). Neuronal plasticity and antidepressant actions. *Trends in neurosciences*, 36(5), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2012.12.010>
- Coubard, O. (2011). Practice of contemporary dance improves cognitive flexibility in aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 3. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2011.00013>
- Dąbrowski, J., Czajka, A., Zielińska-Turek, J., Jaroszyński, J., Furtak-Niczyporuk, M., Mela, et al. (2019). Brain Functional Reserve in the Context of Neuroplasticity after Stroke. *Neural plasticity*. <https://doi.org/10.1155/2019/9708905>
- Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., Chaddock, L., Heo, S., McLaren, M., et al. (2010). Brain-derived neurotrophic factor is associated with age-related decline in hippocampal volume. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 30(15), 5368–5375. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6251-09.2010>
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., et al. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 3017–3022. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015950108>
- Fertonani, A., Pirulli, C., & Miniussi, C. (2011). Random Noise Stimulation Improves Neuroplasticity in Perceptual Learning. *Journal of Neuroscience*, 31(43), 15416–15423. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2002-11.2011>
- Izquierdo, M. A., Oliver, D. L., & Malmierca, M. S. (2009). Mecanismos de plasticidad (funcional y dependiente de actividad) en el cerebro auditivo adulto y en desarrollo [Functional and activity-dependent plasticity mechanisms in the adult and developing auditory brain]. *Revista de neurologia*, 48(8), 421–429.
- Janssen, I., & Leblanc, A. G. (2010). Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 7(40). doi:10.1186/1479-5868-7-40
- Kobilo, T., Liu, Q. R., Gandhi, K., Mughal, M., Shaham, Y., & van Praag, H. (2011). Running is the neurogenic and neurotrophic stimulus in environmental enrichment. *Learning & memory*, 18(9), 605–609. <https://doi.org/10.1101/lm.2283011>

- Lin, T. W., & Kuo, Y. M. (2013). Exercise benefits brain function: the monoamine connection. *Brain sciences*, 3(1), 39–53. <https://doi.org/10.3390/brainsci3010039>
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., y Villanueva, J. (2018). Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, 11(3), 184-186. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-01072018000300184>
- Neupert, S. D., Lachman, M. E., & Whitbourne, S. B. (2009). Exercise self-efficacy and control beliefs: effects on exercise behavior after an exercise intervention for older adults. *Journal of aging and physical activity*, 17(1), 1–16. <https://doi.org/10.1123/japa.17.1.1>
- Nilsson, J., Ekblom, Ö., Ekblom, M., Lebedev, A., Tarassova, O., Moberg, M., et al. (2020). Acute increases in brain-derived neurotrophic factor in plasma following physical exercise relates to subsequent learning in older adults. *Scientific reports*, 10(1), 4395. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60124-0>
- Partanen, E., Kujala, T., Näätänen, R., Liitola, A., Sambeth, A., & Huotilainen, M. (2013). Learning-induced neural plasticity of speech processing before birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(37), 15145–15150. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302159110>
- Pascual-Castroviejo I. 1996. Plasticidad cerebral. *Revista de Neurología*; 24(135):1361-1366. doi: 10.33588/rn.24135.96430
- Perini, R., Bortoletto, M., Capogrosso, M., Fertoni, A., & Miniussi, C. (2016). Acute effects of aerobic exercise promote learning. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep25440>
- Phillips C. (2017). Brain-Derived Neurotrophic Factor, Depression, and Physical Activity: Making the Neuroplastic Connection. *Neural plasticity*. <https://doi.org/10.1155/2017/7260130>
- Sánchez-Meca, J. (2010). Cómo realizar una revisión sistemática y un meta-análisis. *Aula Abierta*, 38(2), 53–64. Recuperado de: <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3316651.pdf>
- Schmidt-Kassow M, Deusser M, Thiel C, Otterbein S, Montag C, Reuter M, et al. (2013) Physical Exercise during Encoding Improves Vocabulary Learning in Young Female Adults: A Neuroendocrinological Study. *PLoS ONE* 8(5): e64172. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064172>
- Schmidt, M., Benzing, V., & Kamer, M. (2016). Classroom-Based Physical Activity Breaks and Children's Attention: Cognitive Engagement Works!. *Frontiers in psychology*, 7, 1474. doi:10.3389/fpsyg.2016.01474
- Speisman, R. B., Kumar, A., Rani, A., Foster, T. C., & Ormerod, B. K. (2013). Daily exercise improves memory, stimulates hippocampal neurogenesis and modulates immune and neuroimmune cytokines in aging rats. *Brain, behavior, and immunity*, 28, 25–43. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2012.09.013>

- Tseng, B. Y., Gundapuneedi, T., Khan, M. A., Diaz-Arrastia, R., Levine, B. D., Lu, H., et al. (2013). White matter integrity in physically fit older adults. *NeuroImage*, 82, 510–516. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.06.011
- Voss, M. W. (2010). Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*.
<https://doi.org/10.3389/fnagi.2010.00032>
- Voss, M. W., Nagamatsu, L. S., Liu-Ambrose, T., & Kramer, A. F. (2011). Exercise, brain, and cognition across the life span. *Journal of Applied Physiology*, 111(5), 1505–1513. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00210.2011>
- Voss, M. W., Prakash, R., Erickson, K., Basak, C., Chaddock, L., Kim, J. et al. (2010). Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*.
<https://doi.org/10.3389/fnagi.2010.00032>
- Wei, G. X., Xu, T., Fan, F. M., Dong, H. M., Jiang, L. L., Li, H. J., et al. (2013). Can Taichi reshape the brain? A brain morphometry study. *PloS one*, 8(4), e61038.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061038>
- Weinstein, A. M., Voss, M. W., Prakash, R. S., Chaddock, L., Szabo, A., White, S. M., et al. (2012). The association between aerobic fitness and executive function is mediated by prefrontal cortex volume. *Brain, behavior, and immunity*, 26(5), 811–819. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2011.11.008>
- Yuede, C. M., Timson, B. F., Hettinger, J. C., Yuede, K. M., Edwards, H. M., Lawson, et al. (2018). Interactions between stress and physical activity on Alzheimer’s disease pathology. *Neurobiology of Stress*, 8, 158–171.
<https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2018.02.004>