



UNAM IZTACALA

**Universidad Nacional Autónoma de México**

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm

**Facultad de Estudios Superiores Iztacala**

Con formato: Sangría: Izquierda: 2.5 cm, Derecha: 0.11 cm, Interlineado: Exacto 21.55 pto

**“Cambios en el Funcionamiento Cerebral asociados al Entrenamiento Físico. Desde un Enfoque Neurobiológico”**

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIADO EN PSICOLOGÍA  
P R E S E N T A (N)

**Ángel Fernando Villalva Sánchez**

Director:  
**Dictaminadores:**

Mtro. **Jorge Alberto Guzmán Cortés**  
Dr. **Jorge Bernal Hernández**  
Lic. **Miguel Ángel Hernández Balderas**



**Los Reyes Iztacala, Edo de México, a 31 de Marzo de 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Un Profundo Agradecimiento*

*A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala y al Laboratorio de Neurometría de la UIICSE.*

*A mi alma máter la Universidad Nacional Autónoma de México.*

*A la Dra. Helena Romero, al Dr. Jorge Bernal y al Lic. Miguel Balderas gracias por su apoyo y por brindarme la oportunidad de trabajar con ustedes.*

*Al Mtro. Jorge Guzmán Cortés mil gracias por su enorme enseñanza en todos los ámbitos.*

*A mis amigos y familiares, Cuitláhuac Ortega, Juan Luis Ruiz, Anabel Barrera, Griselda Gómez, Jesús Garrido, Ilse Ruiz, José Luis Meléndez, Alexei Mendoza, Gabriela Martínez, Oscar Puga, Bianca Reyes, Jesús Hernández, Jesús Zárraga, Laura Campos, Edwin Gutiérrez, Giovanni Guerrero y Nicté-Ha Puga.*

*A mis Hermanos, Luis, Marisela, Rogelio y Silvia Villalva Sánchez.*

*A mis padres, que sembraron en mí el gusto por la investigación.  
Victoria Sánchez Martínez y Urbano Villalva Mendoza.*

*A mis abuelos, mis raíces  
Cristobalina Martínez y Manuel Sánchez†,  
Josefina Mendoza† y Felix Villalva †*

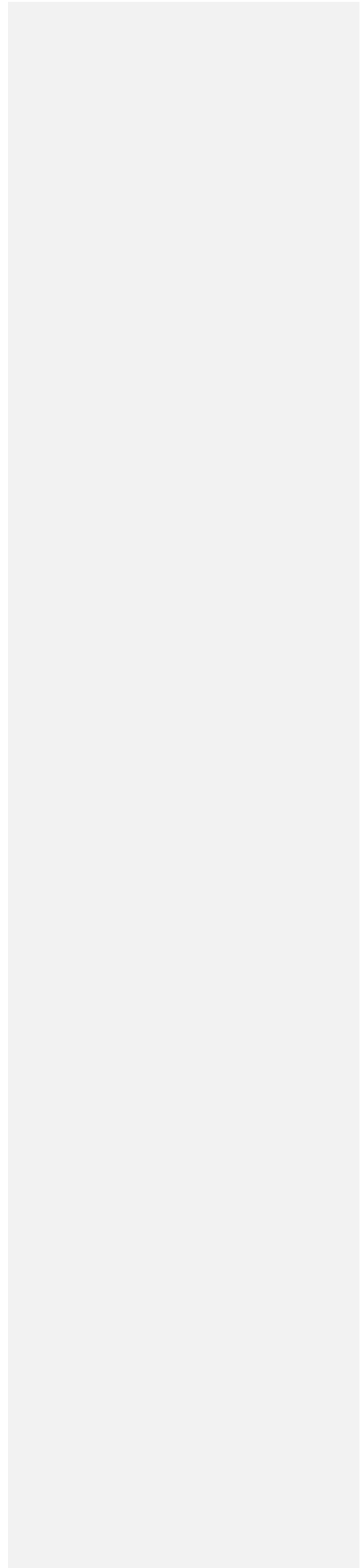
- Dime una cosa, si el ejercicio físico es tan bueno para el cerebro, ¿por qué no utilizamos una píldora, una pastillita?, o sea, ¿no habría manera de sustituir tanto ejercicio?

- Sin duda esto sería el sueño de toda la gente, ¿no?, estar en casa viendo la televisión y tener los mismos efectos que el ejercicio pero yo diría que eso es imposible, porque el ejercicio es algo mucho más que una píldora, el ejercicio es...el ejercicio, yo diría, son miles de años de evolución...

**Fragmento de entrevista a Fernando Gómez-Pinilla** (Redes TVE, 2010).  
Neurocientífico, Neurotrophic Research Laboratory, University of California

*-Todo el mundo me dice que tengo que hacer ejercicio. Que es bueno para mi salud. Pero nunca he escuchado a nadie que le diga a un deportista; tienes que leer.*

José Saramago





## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.</b> .....	<b>6</b>
OBJETIVOS .....	11
MÉTODO .....	12
<b>DIFERENCIAS ENTRE LA PRÁCTICA DEPORTIVA, LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL ENTRENAMIENTO FÍSICO</b> .....	<b>13</b>
TIPOS DE EJERCICIO FÍSICO .....	16
<b>EVIDENCIA DE CAMBIOS ESTRUCTURALES CEREBRALES ASOCIADOS AL ENTRENAMIENTO FÍSICO</b> .....	<b>18</b>
ANTECEDENTES .....	18
MÉTODOS DE VISUALIZACIÓN CEREBRAL USADOS EN INVESTIGACIÓN CON HUMANOS. ..	20
EVIDENCIA EMPÍRICA. ....	21
<b>EVIDENCIA DE CAMBIOS FUNCIONES CEREBRALES ASOCIADOS AL ENTRENAMIENTO FÍSICO.</b> .....	<b>31</b>
<b>MECANISMOS INVOLUCRADOS EN LOS CAMBIOS FUNCIONALES</b> .....	<b>29</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>37</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	<b>43</b>
<b>ANEXO.</b> .....	<b>55</b>

## INTRODUCCIÓN

La inactividad física es el cuarto factor de riesgo de mortalidad más importante en todo el mundo con un 5%, según datos obtenidos por la Organización Mundial de la Salud. Sólo la superan la hipertensión (13%), el consumo de tabaco (9%) y el exceso de glucosa en la sangre (6%). Según la OMS “el rápido aumento del sobrepeso y la obesidad en muchos países de bajos y medianos ingresos auguran una carga abrumadora de enfermedades crónicas en los próximos 10 a 20 años si no se toman medidas para reducir estos índices” (OMS, 2009). Además, existe suficiente evidencia que asocia el sedentarismo con otros factores de riesgo, como son la hipertensión y la diabetes.

En México la proporción de los adultos mexicanos que registra sobrepeso u obesidad llegó al 70%, según la última Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2006). Convirtiéndose así, en un problema de salud pública, el cual si sigue esta tendencia puede agravarse en gran medida.

Una de las medidas que se han puesto en marcha es la práctica de actividad física, sin embargo, los resultados han sido poco alentadores. A través de un estudio realizado por miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), se sabe que en México las personas de 15 años o más, sólo dedican 5% del tiempo libre a las actividades deportivas, mientras que se destina el 48% a ver televisión y escuchar radio (OCDE, 2009). Por otra parte, en el 2009 la Encuesta Nacional sobre Uso del Tiempo, arrojó que sólo una de cada 4 personas (27.6%) realiza algún deporte o actividad física (INEGI, 2010).



Al analizar estas cifras, podemos darnos cuenta que la situación es alarmante, es por ello que diversos organismos, como la Organización Mundial de la Salud, la Secretaría de Salud y la Secretaría de Educación Pública (OMS, SS, SEP), han lanzado diversas medidas de prevención, tal es el caso del programa impulsado por parte de la Secretaría de Salud, en el que destaca el Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria, primera política pública integral para combatir el problema de obesidad, que promueve principalmente, la actividad física, el consumo de agua simple potable, granos verduras y frutas, así como disminuir la ingesta de grasas y azúcares (SS, 2010).

De igual forma, se ha determinado que el cambio en nuestros estilos de vida deben comenzar desde las escuelas, por lo que, la Secretaría de Educación Pública con ayuda de la Secretaría de Salud, han elaborado guías dirigidas a docentes para promover las actividades físicas en todos los niveles escolares (desde preescolar hasta educación media superior), y acercar a los alumnos al conocimiento de la importancia de asumir un estilo activo de vida (SEP, 2010).

En México, el problema del sedentarismo, está acarreado distintas complicaciones de salud, en la actualidad ocupamos el 1er lugar en obesidad infantil en el mundo según datos de la OMS (2010), por factores como la mala alimentación y el sedentarismo, de tal forma que una persona que no hace ninguna actividad física pierde múltiples beneficios.

Ante éste difícil panorama, surge la necesidad de identificar y discutir las evidencias que muestran beneficios de la activación física en diversos niveles, uno de ellos y quizá uno de los menos difundidos e investigados, son los beneficios en el funcionamiento cerebral que la actividad física conlleva. El conocimiento de ésta

cuestión, permitiría ampliar el horizonte de ventajas que trae la práctica de actividades físicas, dando como resultado una mayor difusión de los beneficios que se obtienen por medio del acondicionamiento físico, y apoyar a las campañas dirigidas a promover dichas prácticas en la población en general.

Existen numerosos trabajos, que señalan varios de los beneficios que la actividad física ejerce sobre la salud, por ejemplo; la actividad física está relacionada positivamente con la salud cardiorrespiratoria y metabólica. (Janssen, 2007. Janssen y Leblanc, 2010). Así mismo, se han señalado otras ventajas relacionadas a la práctica regular de actividad física, tales como: ayudar a construir y mantener sanos huesos, articulaciones y músculos, tanto en niños, como en jóvenes (Vicente-Rodríguez, 2006).

Del mismo modo, hay evidencia que sugiere, que en los adultos también existe una relación directa entre la actividad física y la salud metabólica, concretamente una reducción del riesgo de diabetes mellitus tipo 2 y de síndrome metabólico (Bauman, 2005; Nocon, 2008). Los datos indican que se requiere de 150 minutos semanales (2.5 hrs) de actividad física moderada o vigorosa para tener un riesgo considerablemente menor (PAGAC, 2008).

Se ha demostrado también que la actividad física periódica en adultos mayores (de 65 años en adelante), en comparación con las personas menos activas, presentan tasas más bajas de mortalidad, cardiopatía coronaria, hipertensión, accidente cerebrovascular, diabetes tipo 2, cáncer de colon, cáncer de mama, sus funciones cardiorrespiratorias y musculares son mejores, y ofrece un perfil de biomarcadores más favorable a la prevención de las enfermedades cardiovasculares y de la diabetes tipo 2, y además mejora de la salud ósea (Paterson, Jones &

Rice, 2007; Paterson & Warburton 2010). Por otro lado, también facilita el desarrollo de habilidades motrices y ayuda a prevenir y controlar estados de ansiedad y depresión (Lawlor, & Hopker, 2001; Jiménez, 2008).

Estos datos nos ofrecen un amplio panorama de los principales beneficios que han sido estudiados, sin embargo existen también otras investigaciones que buscan resaltar otro tipo de relaciones que poco se conocen, como es el caso de la relación entre el funcionamiento cerebral y la actividad física. Por ejemplo, se sabe que un estilo de vida sedentario está asociado con sufrir accidentes cerebro vasculares, y eleva la probabilidad de padecer diabetes mellitus tipo II, que por su parte se ha asociado con el deterioro cognoscitivo (Mejía-Arango & Cols, 2007). Por otro lado, Nakata, Yoshie, Miura & Kazutoshi (2010), les interesó estudiar los cambios en el cerebro de atletas de alto rendimiento, observando que se caracterizaban por una mayor eficiencia neuronal, expresada por la capacidad del funcionamiento cortical con una cantidad mínima energía, que sugieren una abreviación de los circuitos neuronales, probablemente debido al entrenamiento a largo plazo.

Lafenetre, Leske, Wahle & Heumann (2010), investigaron los mecanismos involucrados en la generación de nuevas células en el hipocampo de cerebros adultos en modelos animales, demostrando que la actividad física voluntaria es un factor clave, y a su vez, señalan que dichos cambios podrían beneficiar los procesos cognoscitivos involucrados en el hipocampo, como los son el aprendizaje y la memoria.

Diversos estudios observacionales y prospectivos, han demostrado una reducción del riesgo de padecer Alzheimer y otros tipos de demencia, si hacen actividad

física. Tal es el caso de un interesante estudio prospectivo donde participaron 1740 adultos mayores, que se les dio un seguimiento de 6.2 años en promedio, de esa forma se logró demostrar que aquél que realizaba algún tipo de ejercicio por lo menos tres veces a la semana, era menos propenso a padecer algún tipo de demencia (Larson, Wang, James & cols, 2006). Este dato, resulta sumamente significativa si tenemos en mente que en la actualidad en México, la edad media de la población es de 26 años y la esperanza de vida es de 76 años (INEGI , 2011), lo que advierte a lo largo de las siguientes décadas, un progresivo incremento de la edad media en México y por consiguiente que los padecimientos asociados a el envejecimiento aumenten.

La literatura actual sobre la relación cerebro y actividad física es muy escasa, además que la poca información de la que se dispone sólo se encuentra disponible en otro idioma (Ingles). Es por ello que resulta oportuno e importante hacer una revisión de la literatura acerca de las evidencias que permitan establecer si la actividad física es un factor que propicia beneficios en la salud cerebral.

En los últimos años las neurociencias se han convertido en una valiosa herramienta, en la descripción del funcionamiento cerebral, es por ello que resulta pertinente abordar esta temática desde un enfoque neurobiológico, ya que nos permitiría explorar los procesos relacionados con cambios estructurales y funcionales del cerebro como resultado de la práctica cotidiana de actividad física, ya que permitiría vislumbrar la posibilidades que genera el conocimiento específico de esta relación y entender el proceso de cambios plásticos cerebrales.

Conocer dicho fenómeno permitiría desarrollar campañas de prevención de

enfermedades neurodegenerativas o inclusive implementar programas específicos de actividad física para rehabilitación en pacientes que ya las padecen, por lo que una revisión de los últimos avances científicos en materia de neurociencias nos daría un panorama general del trabajo que se está llevando a cabo, de igual forma, nos permitiría discutir nuevas evidencias sobre el beneficio del entrenamiento físico en el funcionamiento cerebral y sugerir estudios futuros que apoyen estos datos.

Pregunta de Investigación:

¿Existen cambios a nivel estructural asociados al entrenamiento físico? ¿Existen cambios a nivel funcional asociados al entrenamiento físico? Y por último ¿Cuáles son los posibles mecanismos involucrados en estos cambios?

## **Objetivos.**

La presente investigación busca hacer una revisión teórica del tema en el campo de las neurociencias, basándonos en los principales estudios científicos que se han realizado en los últimos diez años, y tiene como objetivo fundamental analizar el sustento teórico de algunas hipótesis que sugieren un papel benéfico del entrenamiento físico en el funcionamiento cerebral. Y así reportar los principales resultados que se han hallado, en dos principales tópicos: cambios estructurales a nivel cortical y cambios funcionales asociados a la práctica de la actividad física.

Objetivos secundarios:

- Identificar cuáles son los principales mecanismos neurobiológicos descritos asociados en el cambio cerebral de practicantes de algún deporte o entrenamiento físico.
- Cuáles son los beneficios descritos (a nivel cerebral) en niños, adultos y adultos mayores, debidos al entrenamiento físico.

- Explorar la influencia de ciertas variables, como el tiempo y tipo de entrenamiento físico, que se han descrito en trabajos empíricos, en donde se han encontrado cambios a nivel cerebral.

## **Método.**

La metodología utilizada para esta revisión, consistió en una búsqueda de reportes de investigaciones científicas recientes, dicha búsqueda se realizó mediante dos de las principales bases de datos (ScienceDirect®, y PubMed), los términos de búsqueda fueron mediante las siguientes palabras clave:

*sport neuroplasticity, athletes brain benefits, brain changes, physical exercise benefits, aerobic exercise brain, effects resistance training, effects aerobic training,* y algunas variaciones con diversos marcadores booleanos como, AND ó PLUS (+).

Se incluyeron artículos de investigaciones originales, revisiones y libros que abordaban la temática. Los filtros de búsqueda fueron los siguientes:

- Que los estudios se hayan publicado del año 2001 a la fecha,
- Su publicación haya sido en una revista científica con un alto factor de impacto y relevancia.
- Que la investigación empírica se realice en humanos y no en modelos animales.
- Estén publicados en inglés o español.

Se seleccionaron los artículos filtrados y se categorizaron de acuerdo a los cambios reportados en el cerebro a nivel funcional (neuropsicológicos y electrofisiológicos.) y a nivel estructural (cambios corticales evidenciados por medio de técnicas de visualización cerebral). La búsqueda arrojó 49 investigaciones teóricas y empíricas que estudian la relación entre entrenamiento físico y cambios en el funcionamiento cerebral.

## **DIFERENCIAS ENTRE LA PRÁCTICA DEPORTIVA, LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL ENTRENAMIENTO FÍSICO.**

Existe cierta confusión cuando se trata de definir actividad física, deporte y entrenamiento, dichos conceptos suelen usarse de forma indiscriminada para referirse a una misma actividad, ya que comparten muchas características, pero en realidad existen importantes diferencias. La finalidad de aclarar estas distintas definiciones, es delimitar y aclarar de manera específica la población en la que se basa esta revisión teórica, de esta forma el análisis de las evidencias encontradas resultarán más fiables, al atribuir algún beneficio a una práctica específica.

Por ejemplo Nielsen & Cohen (2008) afirman que existe un cambio en la actividad neuronal de los atletas profesionales modulados por los años de práctica y entrenamiento, esta importante revisión retoma algunas evidencias que muestran cambios plásticos adaptativos en la corteza motora de los atletas profesionales. Además el desarrollo del cerebro de los atletas de alto rendimiento ofrece una oportunidad para el estudio de cambios en las redes neuronales y cambios adaptativos plásticos debidos al entrenamiento a largo plazo (Nakata, Yoshie, Miura & Kazutoshi, 2010); sin embargo, también que el entrenamiento físico (en no-atletas) promueve el reclutamiento neuronal y la neurogénesis en adultos (Kempermann Fabel, Ehninger & Cols. 2010).

En la presente investigación teórica, se mostrarán evidencias de cambios cerebrales en (resultado de una revisión de estudios empíricos), participantes que realicen algún tipo de entrenamiento físico, para incluir investigaciones hechas con atletas y no-atletas, debido a que se han encontrado cambios en ambos grupos.

Ahora bien, comencemos definiendo deporte, etimológicamente la palabra deporte, proviene del latín *de-portare* (fuera-de-puerta), que se usaba para referirse cuando uno salía fuera de la ciudad, para divertirse, jugar o incluso realizar ejercicios físicos (Herrador, 2008). La UNESCO (1978), define el deporte como “La actividad humana significativa que se manifiesta y se concreta en la práctica de los ejercicios físicos, bajo forma competitiva”, dicho organismo también menciona que el deporte es una “...actividad física en forma de juego que implica una confrontación con uno mismo y con el medio que nos rodea y donde la competencia debe seguir normas éticas...” En resumen, podemos decir que el deporte es la actividad física de carácter lúdica, sujeto a normas, bajo forma competitiva o institucionalizada (*Lüschen & Weis, 1976*).

En muchas ocasiones, se puede pensar que hacer deporte es simplemente realizar una actividad física; sin embargo, no es así. En el deporte existen reglas y competencia que por medio de una o varias normas claras y jueces determinan quién va a ser el vencedor. Y además no sólo está presente el aspecto físico, sino también, aspectos cognoscitivos y estratégicos (*Casis & Zumalabe, 2008*).

Por otro lado, la actividad física se define como cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos y que produce un gasto energético por encima de la tasa de metabolismo basal (*Barbany, 2002*). De tal forma que una actividad física puede ser un simple movimiento corporal de la rutina diaria, como tareas del hogar, caminar, subir escaleras, salir de compras etc.

Por otra parte, existen también otros conceptos muy relacionados, que son necesarios definir para no confundirlos, tal es el caso, de “entrenamiento físico” y “ejercicio físico”.



El ejercicio físico es una actividad física planeada que persigue un propósito de entrenamiento (Blair, LaMonte & Nichaman, 2004). Mientras que el entrenamiento físico es el conjunto de ejercicios físicos periódicos, que tienen como objetivo específico incrementar capacidades físicas básicas (resistencia, fuerza, velocidad y flexibilidad). Es decir, el ejercicio físico, pasa a ser la unidad básica del entrenamiento físico, y al mismo tiempo se define como una actividad física.

Como se puede observar en la siguiente Tabla (1) la actividad física forma la unidad básica de los demás conceptos, y así por ejemplo, el ejercicio físico añade otras propiedades para complejizar la tarea como es la intención de llevarlo a cabo durante más tiempo o realizar trabajos repetitivos. Es de suma importancia entender las diferencias, similitudes y características de conceptos que giran alrededor de la actividad física para, posteriormente analizar los resultados de investigaciones que manipulan dichas variables. Por ese motivo, los conceptos que se muestran a continuación están organizados en forma jerárquica, empezando desde el concepto más simple y finalizando con el más complejo.

<b>Actividad física</b>	Es cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos y que produce un gasto energético por encima de la tasa de metabolismo basal. (Barbany, 2002).
<b>Ejercicio físico</b>	Una parte de la actividad física planeada y que persigue un propósito de entrenamiento (Blair, LaMonte & Nichaman, 2004).
<b>Entrenamiento físico</b>	Es el conjunto de ejercicios físicos periódicos, que tienen un objetivo específico (UNESCO, 1978).
<b>Deporte</b>	Son actividades físicas de carácter lúdicas, sujeto a normas, bajo forma competitiva o institucionalizada (Casis

	& Zumalabe, 2008).
--	--------------------

**Tabla 1.** Definiciones relacionadas con la actividad física.

### **Tipos de Ejercicio Físico.**

De igual manera, resulta sumamente importante aclarar y distinguir entre los diferentes tipos de ejercicio, ya que acorde a diversas investigaciones (Barbany, 2002; Achten, 2003), ambos tipo de ejercicio redundan en beneficios en el funcionamiento cerebral, sin embargo los mecanismos neurobiológicos que sustentan dichos cambios son diferentes. Estas diferencias, serán abordadas en capítulos posteriores

El ejercicio físico puede dividirse en dos grandes tipos: el aeróbico y el anaeróbico. Los ejercicios aeróbicos se definen como cualquier actividad física donde los medios predominantes de resíntesis del ATP (trifosfato de adenosina) surgen del metabolismo aeróbico proporcionado por las actividades dinámicas y continuas con grupos musculares grandes (Barbany, 2002). Ejemplos frecuentes son la natación, correr, caminar, remar, etc. El ejercicio aeróbico se diferencia del ejercicio anaeróbico en que los substratos de energía (principalmente ácidos grasos) se metabolizan con oxígeno (Achten, 2003).

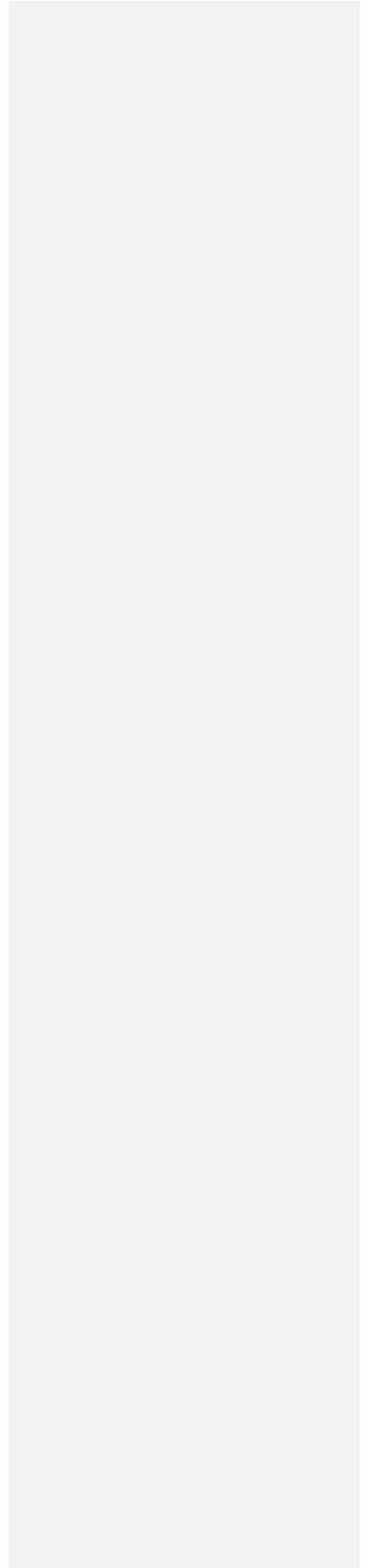
En un estudio realizado por Nemoto, Gen-no, Masuki & cols. (2007) acerca de los beneficios de realizar ejercicio aeróbico como caminar, se reporta que existe una mejoría en la presión arterial de los participantes, por lo que se disminuye la probabilidad de sufrir enfermedades cardiovasculares cerebrales, ya que el flujo sanguíneo se incrementa al realizar ejercicio moderado e intenso (mayores niveles de volúmenes de oxígeno) en distintas zonas del cerebro, de igual forma se ha encontrado que la gente que practica ejercicio aeróbico muestra altos niveles de oxigenación en la corteza prefrontal (Rooks, Thom, McCully & Dishma, 2010).

Por otro lado, el ejercicio anaeróbico se caracteriza por el escaso movimiento muscular y articular, con un importante aumento del tono muscular y no es necesario el oxígeno en su realización. El ejemplo típico de ejercicio anaeróbico es el levantamiento de pesas o el entrenamiento de resistencia.

En un estudio reciente realizado por Liu-Ambrose, Nagamatsu, Voss & Cols (2011), muestran beneficios procesos atencionales y funciones ejecutivas al realizar progresivamente un entrenamiento en resistencia y proponen que adultos mayores que tienen contraindicado el ejercicio aeróbico, por algún tipo de riesgo cardiovascular pueden salir beneficiados al entrenar de manera anaeróbica. De igual forma, en un estudio realizado por Cassilhas, Viana & Grassman (2007), en donde 62 hombres de entre 65 y 75 años entrenaron durante 6 meses 3 veces por semana mediante un programa de resistencia, encontraron una mejoría en el procesamiento cognoscitivo, evidenciado mediante tareas de formación de conceptos y de memoria. No obstante a pesar de las evidencias mostradas, cabe señalar, que existen muy pocos estudios que aborden los efectos del entrenamiento anaeróbico en el funcionamiento cerebral.

Ahora bien, cabe mencionar que el entrenamiento competitivo que llevan a cabo los atletas es una mezcla de ambos tipos de ejercicio, por lo que atribuirle los efectos únicamente al ejercicio aeróbico o viceversa es sumamente complicado.

Finalmente a partir de lo aquí mostrado, podemos señalar que esta revisión teórica se enfocaran en señalar los cambios a nivel cerebral, estructura y funcional al realizar entrenamiento físico de tipo aeróbico.



## **EVIDENCIA DE CAMBIOS ESTRUCTURALES CEREBRALES ASOCIADOS AL ENTRENAMIENTO FÍSICO.**

### **Antecedentes.**

Desde mucho tiempo atrás (en la antigua Grecia) se intuía la importancia que tiene la práctica del ejercicio para la salud “física” y “espiritual”. La cultura griega desarrolló de forma paralela el estudio filosófico y las competencias deportivas. Así lo denota la tan conocida frase *-Mens sana in corpore sano-* que es por cierto es una de las primeras aproximaciones a la relación entre el ejercicio físico y procesos “mentales”. El ejercicio era un elemento esencial en sus actividades sociales.

Actualmente, se saben los múltiples beneficios que brinda realizar ejercicio físico en diversos rangos de edad a nivel cardiorrespiratorio (Janssen, 2007), metabólico (Janssen & Leblanc, 2010), musculo-esquelético (Vicente-Rodríguez, 2006) y psicológico (Jiménez, 2008). Sin embargo, se ha puesto poco énfasis en indagar cuáles son los beneficios a nivel cerebral, a pesar de las antiguas aseveraciones que señalan dicha relación.

Los cambios estructurales cerebrales asociados a la práctica de entrenamiento físico han sido poco descritos, quizá la principal razón eran las limitantes tecnológicas que permitieran su visualización, sin embargo en la actualidad gracias a los avances tecnológicos (técnicas de neuro imagen) se han reportado interesantes descubrimientos que intentan aclarar esta cuestión.

La investigación en esta área se inicia con estudios epidemiológicos, los cuales establecen relaciones entre el ejercicio físico y la prevención de enfermedades neurodegenerativas, en esta relación, los investigadores dejaban entrever de manera implícita, una serie de cambios microestructurales, como responsables de esta acción preventiva. Estudios epidemiológicos documentaban grandes muestras a lo largo de años y lograron vislumbrar beneficios a nivel cerebral para quién practicaba cotidianamente ejercicio físico (Kramer & Erickson, 2008). Scarmeas, Levy, Tang & cols, (2001) realizaron un importante estudio prospectivo donde reportaron una correlación inversa entre realizar actividades de ocio (como caminar en el parque, visitar amigos, ir al cine etc.) y el riesgo de padecer Alzheimer. Es decir, entre más actividades se tenía menor era el riesgo de sufrir en un futuro alguna enfermedad neurodegenerativa. Sugiriendo así una estrecha relación entre las actividades recreativas (que implicaban por lo menos desplazamiento) y la salud cerebral.

Por su parte, Laurin, Verreault, Lindsay & cols (2001) realizaron otro estudio longitudinal, esta vez relacionando la práctica de ejercicio físico y la posibilidad de contraer una enfermedad neurodegenerativa. Después de 5 años de seguimiento a los cerca de 9000 adultos mayores que participaron, concluyeron que la práctica regular de la actividad física era un importante y potente factor de protección contra la demencia y el declive cognitivo en adultos mayores.

Asimismo, otro estudio epidemiológico (Larson. Wang, James & Cols 2006).logro hacer un seguimiento a 1740 adultos por cerca de 6 años y medio, , al final se logró demostrar que aquél que realizaba algún tipo de ejercicio físico por lo menos tres veces a la semana, era 34% menos propenso a padecer algún tipo de demencia.

Cabe resaltar que los estudios antes mencionados. Hacían uso de encuestas para obtener información sobre la actividad física que realizaban los participantes, y aunque estos resultados eran determinantes para suponer qué algo pasaba a nivel cerebral al realizar ejercicio físico de manera regular, pronto se empezó a buscar otro tipo de evidencias. Así se sentaban las bases para posteriores estudios basados en la exploración de la estructura y funcionamiento cerebral en sujetos de distintas edades que realizaban ejercicio físico frecuentemente.

### **Métodos de Visualización Cerebral Usados en Investigación con Humanos.**

El estudio del cerebro a lo largo de la historia ha planteado un enorme reto para observarlo directamente. Durante largos años, su examinación era posible sólo después de la muerte (estudios post mortem). . En las últimas décadas han surgido importantes avances tecnológicos que hacen posible la exploración del cerebro *in vivo* y con su uso, se han planteado nuevas preguntas para comprender el funcionamiento cerebral. Uno de estos métodos, son las técnicas de neuroimagen. Esta metodología hace posible obtener evidencia de los cambios que existen en la estructura cerebral al practicar algún deporte.

En particular, las evidencias empíricas de cambio estructural en modelos humanos, son por medio de métodos innovadores que permiten visualizar el encéfalo, es por ese motivo, que reseñaremos brevemente algunas de las técnicas más comunes que se usan, para lograr visualizar los cambios que se producen en la estructura del cerebro.

*Tomografía axial computarizada (TAC):* es un procedimiento asistido por ordenador en donde se toman múltiples radiografías por separado cuando el paciente permanece tendido con la cabeza colocada en el centro de un cilindro, y al final se combinan para conseguir una exploración por TAC (Pinel, 2007).

*Imagen por Resonancia Magnética (MRI):* es una técnica mediante el cual se construyen imágenes de alta resolución basándose en la medida de las ondas que emiten los átomos de hidrogeno al ser activados por ondas de radiofrecuencia en un campo magnético. Proporciona mayor precisión en las imágenes por su alta resolución espacial y su codificación a color (Carlson, 2006).

*Imagen por Resonancia magnética Funcional (fMRI):* ésta técnica ofrece imágenes del aumento del aporte de oxígeno en sangre a las regiones activas del encéfalo, presenta varias ventajas como la obtención de imágenes tridimensionales, alta resolución espacial, no se considera invasiva y ofrece información estructural y funcional en una misma imagen (Pinel, 2007).

## **Evidencia Empírica.**

Una de las formas de explicar la relación del ejercicio físico y algunos cambios estructurales en el cerebro, es sin duda estudiar el cerebro de atletas profesionales, ya que ofrecen en primera instancia, un modelo de análisis de los efectos de la práctica deportiva en un periodo muy largo, y así posiblemente mostrar diferencias entre poblaciones que no practican deporte alguno.



Tal es el caso, de lo reportado por Jacini, Cannonieri, Fernandes & Cols (2009) quienes realizaron un estudio con atletas profesionales de judo, en el que se analizó las diferencias en la estructura cerebral respecto a un grupo control hecho de personas saludables y sedentarias. Los 8 judocas que participaron llevaban entrenando cerca de 10 años, de 5 a 6 horas diarias, a través de una Resonancia Magnética de alta resolución (MRI) se evidenció que existía un mayor volumen de materia gris en la corteza. Estas modificaciones plásticas pueden ser inducidas por el entrenamiento físico como respuesta a la demanda impuesta por el tipo de pruebas específicas en este deporte. Estos resultados demuestran una asociación entre la práctica de un entrenamiento físico a largo plazo y una alta densidad en la materia gris en la corteza pre-frontal que envuelven planeación y ejecución motora compleja.

Los cambios estructurales corticales en atletas de alto rendimiento sugiere que la repetición de un entrenamiento específico, por largo tiempo, ayuda a la transformación de la estructura cerebral (Nakata, Yoshie, Miura & Kazutoshi, 2010).

El desarrollo del cerebro de los atletas ofrece una gran oportunidad para el estudio de la plasticidad por su entrenamiento y practica a largo plazo, ya que, la habilidad de los movimientos propios de la especialidad que practican son modulados por los años de práctica y actividad (Nakata, Yoshie, Miura & Kazutoshi, 2010; Nielsen & Cohen, 2008).

Prueba de los cambios cerebrales inducidos por la realización repetida de pautas

complejas (durante varios años), son los cambios observados en la activación cerebral de músicos expertos (Lee et al, 2003 Schlaugh, 2001).

Lo que atrae también en el estudio de los cambios neuroplásticos en atletas es que adquieren habilidades muy particulares dependiendo de la disciplina que practican, logrando cambios funcionales y estructurales a nivel cerebral. Tal vez más adelante, con ayuda de técnicas de imagen se logren obtener comparaciones entre atletas de distintas especialidades que estimulen el entrenamiento de diferentes habilidades específicas. Como resultado de estos estudios, pronto surgieron múltiples líneas de investigación centradas en indagar los beneficios en otros rangos de edad.

En un estudio realizado por Colcombe, Erickson, Scalf & Cols (2006) se examinó el efecto del entrenamiento físico durante 6 meses, en regiones cerebrales asociadas al declive del envejecimiento en tres grupos; los adultos mayores que realizaron ejercicio aeróbico (A), ejercicio anaeróbico (B) y los adultos jóvenes que no realizaron ningún entrenamiento (C). Por medio de Resonancia magnética (MRI) se demostró un significativo incremento en los participantes del grupo "A" en el volumen de materia gris y blanca, en distintas regiones de la corteza como el giro temporal superior izquierdo, la corteza anterior cingulada y la corteza motora suplementaria, mientras tanto el grupo "B", como el "C" no presentaron cambios. Esto sugiere que el entrenamiento aeróbico es un agente importante para el mantenimiento del funcionamiento cerebral en adultos mayores.

El ejercicio aeróbico y la actividad física mejora las funciones cerebrales y cognitivas a lo largo de nuestra vida (Hillman, Erickson & Kramer, 2008), de igual forma se ha hecho mención de sus propiedades como factor preventivo de

padecer enfermedades neurodegenerativas en edad avanzada (Larson, Wang, James & Cols 2006; Colcombe, Erickson, Scalf & Cols, 2006).

Así, es posible señalar la presencia de cambios estructurales en edades avanzadas. Los primeros estudios se centraron en los beneficios que logró el entrenamiento aeróbico en adultos mayores, ya que según sus resultados ofrece protección neuronal y logra disminuir el riesgo de padecer enfermedades neurodegenerativas.

Los estudios mostrados anteriormente, son evidencia fehaciente de los cambios en cerebros de deportistas adultos y ancianos, sin embargo, los estudios en niños que practican algún entrenamiento físico, son sumamente escasos, ya que es difícil sostener una relación directa entre el ejercicio físico y cambios corticales asociados al entrenamiento, debido a que el propio desarrollo ontogenético es rápido en comparación con otras etapas de la vida.

Chaddock, Erickson, Prakash & Cols (2010), indagaron la relación del entrenamiento aeróbico (severo y leve) entre la estructura (volumen) y la función de los ganglios basales en niños de 10 – 11 años, encontrando un incremento significativo en el volumen de algunas partes de los ganglios basales en el grupo de niños que estuvieron bajo un régimen estricto de entrenamiento, además también mostraron una mejoría en una tarea de atención selectiva.

Existen también, otro tipo de evidencias que afirman efectos positivos en el funcionamiento cerebral de niños. Schneider, Vogt, Frysch. Guardiera & Strüder, (2009) registraron el EEG de 11 niños de entre 9 y 10 años, quienes realizaron

ejercicio en bicicleta fija en su aula escolar antes y después de clases, posteriormente se llevó a cabo un análisis matemático (sLORETA<sup>1</sup>) y mostró cambios en la región temporal izquierda incluyendo el área de Wernicke concluyendo que el ejercicio aeróbico está relacionado directamente con la neuroplasticidad en áreas primordiales para el procesamiento del lenguaje.

La evidencia mostrada, señala que los beneficios del ejercicio aeróbico dependen de múltiples variables, como el tiempo de entrenamiento, periodicidad del ejercicio físico tipo de entrenamiento y la edad del practicante. Tal es el caso de los resultados encontrados con atletas de alto rendimiento donde se asocia un incremento volumétrico en materia gris, comparada con no atletas (Jacini, Cannonieri, Fernandes & Cols, 2009).

A partir de lo hasta ahora señalado, es posible concluir que el entrenamiento físico juega un papel importante al inducir cambios estructurales en el cerebro en diversas etapas de la vida (niños, adultos y ancianos), lo cual nos lleva a proponer que la actividad física, continua, durante un periodo prolongado de tiempo, redundará en cambios benéficos en la estructura cerebral. Dichos cambios son el resultado de modificaciones inducidas a partir de la repetición constante de rutinas complejas.

---

<sup>1</sup>Técnica que permite ubicar la distribución de zonas específicas durante el registro de un EEG por medio de fórmulas algorítmicas (Pascual-Marqui, 2002).

## **EVIDENCIAS DE CAMBIOS FUNCIONALES ASOCIADAS AL ENTRENAMIENTO FÍSICO.**

En un estudio realizado por Linder (1999), se encontró que los niños que salían a realizar ejercicio aeróbico entre clases, incrementaban el nivel de atención, comparados con los que no; y a su vez se señaló que existía un mejor desempeño académico en niños un grupo de niños que realizaban ejercicio aeróbico (Ramírez, Vinaccia & Suárez, 2004), no obstante a pesar de los resultados mostrados, no se aclaró la razón de estas diferencias. Estas investigaciones pioneras incentivaron discusiones acerca del papel del ejercicio físico regular en el mejoramiento de funciones cognoscitivas y de cómo actuaba en el funcionamiento cerebral, pero los mecanismos involucrados en estas mejoras aún no han quedado del todo claros.

Harada, Okagawa & Kubota (2004) llevaron a cabo un experimento, que consistía en determinar el efecto de salir a correr cotidianamente en el desempeño de una prueba neuropsicológica que evaluaba las funciones ejecutivas (asociadas al funcionamiento de los lóbulos frontales) Los participantes trotaban durante 30 minutos, tres veces por semana durante 12 semanas. Posteriormente se compararon 2 grupos, uno con manipulación de variable independiente (ejercicio aeróbico) y el otro con ausencia, al comparar los puntajes de las pruebas neuropsicológicas se encontró una mayor puntuación en el grupo dónde los participantes practicaron ejercicio aeróbico, además se observó que las puntuaciones bajaban cuando los participantes no seguían el entrenamiento, por lo que las mejoras se perdieron al interrumpir la actividad física, lo que significa que la continuidad en el ejercicio físico es un punto clave para obtener un beneficio cognoscitivo.

Por otro lado, también se midió el volumen máximo de oxigenación ( $VO_{2 \max}$ ) que fue incrementándose paralelamente en el grupo experimental con las puntuaciones de las pruebas, mostrando posiblemente que el mantenimiento de un flujo constante de sangre y oxígeno preserva las funciones cognitivas. Los resultados de los test neuropsicológicos que evaluaban control inhibitorio, se incrementaron cuando los participantes estaban en entrenamiento aeróbico y disminuyeron cuando pararon el entrenamiento, demostrando cambios en el funcionamiento de la corteza pre-frontal atribuidos al entrenamiento aeróbico.

En una reciente investigación (Voss, Prakash, Erickson & cols, 2010), se demostró también que el entrenamiento aeróbico tiene un efecto benéfico en el funcionamiento cognoscitivo; el estudio fue desarrollado en un grupo de adultos mayores, que realizaron un entrenamiento aeróbico (caminata) durante 1 año, mostrando una mejor ejecución en pruebas que evaluaban funciones ejecutivas como memoria de trabajo, planeación e inhibición. Por otro lado, el periodo de tiempo realizando ejercicio fue una variable importante, ya que no se reportó un incremento en el rendimiento cognoscitivo cuando los participantes habían entrenado únicamente seis meses. La importancia de dicho estudio se centra en el tipo de evidencia que ofrece acerca de la neuroplasticidad en el cerebro de ancianos debido al entrenamiento aeróbico a largo plazo.

Ahora bien, dichos cambios en el funcionamiento cognoscitivo, se han atribuido a una característica que los autores denominan neuroeficiencia, dicha hipótesis postula la existencia de una mayor eficiencia en el procesamiento cognoscitivo en sujetos que llevan por largo plazo un entrenamiento físico. A través de fMRI se ha demostrado que entre mayor sea el puntaje de pruebas de inteligencia (IQ), fluidez verbal, habilidades espaciales, y memoria de trabajo, el sujeto tiene una menor activación neuronal durante estas pruebas cognitivas (Babiloni & Cols, 2010).

La neuroeficiencia producida por el largo entrenamiento físico, se ha evidenciado en atletas élite, que se caracterizan por una mayor eficiencia neuronal, medida en un menor término de tiempo de reacción, y por una mayor capacidad del funcionamiento cortical (Nakata, Yoshie, Miura & Kazutoshi, 2010).

Gaoxia W. & Jing L. (2010) compararon modelos de activación cerebral en un paradigma denominado *imagery task* por medio de un método de neuroimagen (fMRI) a 12 atletas profesionales de natación y 12 novatos. La tarea consistía en que los participantes imaginarán realizar movimientos simples (habilidades motoras simples) como levantarse, alzar un brazo etc. y movimientos más complejos como zambullirse en el agua, nadar de mariposa y otras habilidades propias de la natación (habilidades profesionales). Los atletas profesionales mostraron una significativa activación en el para-hipocampo cuando imaginaban realizar una destreza profesional mientras que los novatos no. Cabe señalar, que no se mostró diferencia significativa al imaginar habilidades motoras simples. De igual forma, se observó una mayor activación en las áreas pre-frontales de los atletas en ambas pruebas.

Esta investigación nos muestra que la diferencia entre los atletas y los no atletas se basan en que al imaginar realizar ciertas habilidades (propias de su especialidad deportiva) se activan zonas específicas que han sido transformadas por el entrenamiento a lo largo de años haciéndolos más efectivos al utilizar imágenes kinestésicas, pero únicamente en actividades en las que son expertos. Otro dato importante de esta investigación es que se activaron zonas pre-frontales de los atletas al realizar ambas tareas debido posiblemente al alto orden de control motor, ya que se ha relacionado el control motor (movimientos complejos voluntarios) en con el funcionamiento de los lóbulos pre-frontales.

Kempermann Fabel, Ehninger & Cols (2010), explican que la actividad física promueve la plasticidad cerebral, primero en un reclutamiento de los recursos existentes y después en una reorganización funcional incorporando permanentemente recursos que no estaban involucrados antes, para así dar mejores resultados con una mínima energía. Esto sugiere que los circuitos neuronales son más específicos y abreviados, debido al entrenamiento diario lo que conlleva a reafirmar la teoría de la neuroeficiencia.

Se debe tener presente, que los datos obtenidos hasta este momento son en muestras de expertos, en los cuales se ha observado beneficios en el procesamiento (a nivel cerebral), y hasta cambios estructurales como los mostrados en el capítulo anterior, pero estos resultados deben ser analizados con mucho detalle, ya que estos podrían atribuirse en gran medida a otro tipo de variables que se ha demostrado mejorar el funcionamiento cerebral, como la dieta alimenticia, horas de sueño, estilo de vida saludable, etc., Aun así la importancia de los resultados en estos estudios es sin duda la replicabilidad de sus resultados y la fortaleza del diseño que permite atribuir una relación directa entre el entrenamiento físico y la neuroplasticidad.

Existen múltiples investigaciones que indagan los cambios funcionales debido al entrenamiento físico y comúnmente han sido las funciones ejecutivas (la organización y control de la conducta dirigida a un propósito) (Banich, 2009), las que han sido mayormente estudiadas.

La mejora en puntajes en baterías que evalúan funciones ejecutivas en el caso de



atletas después de practicar algún deporte es debido al entrenamiento en habilidades motoras y tiempos de reacción, por medio de la repetición de patrones de movimientos propios de su disciplina. Por otro lado, se ha demostrado también, que el ejercicio aeróbico eleva las concentraciones de sustancias benéficas para el funcionamiento cerebral como neuroprotectores y flujo sanguíneo cerebral (Voss, Prakash, Erickson & cols, 2010).

Un reciente estudio en niños realizado por Davis, Tomporowski, McDowell & Cols (*in press*), demuestra que el entrenamiento aeróbico afecta de forma positiva a las funciones ejecutivas también, ya que el puntaje obtenido en el Cognitive Assessment System que evalúa principalmente atención y planeación (CAS; Naglieri & Das, 1997) fue mayor en niños (edad 7-11) que practicaron de 20 a 40 minutos ejercicio aeróbico durante 13 meses y además se incrementó la activación de la corteza pre-frontal mientras la aplicación de la batería de funciones ejecutivas.

Los cambios funcionales asociados al entrenamiento físico que han sido encontrados están correlacionados principalmente a la corteza prefrontal como planeación, inhibición, resolución de conflictos, memoria de trabajo etc., por medio de distintas pruebas neuropsicológicas. Esto nos lleva a preguntarnos cuales son los mecanismos involucrados en estos cambios, por ese motivo surgen interesantes líneas de investigación que intentan conocer en distintos niveles cómo se dan estos cambios y por qué.

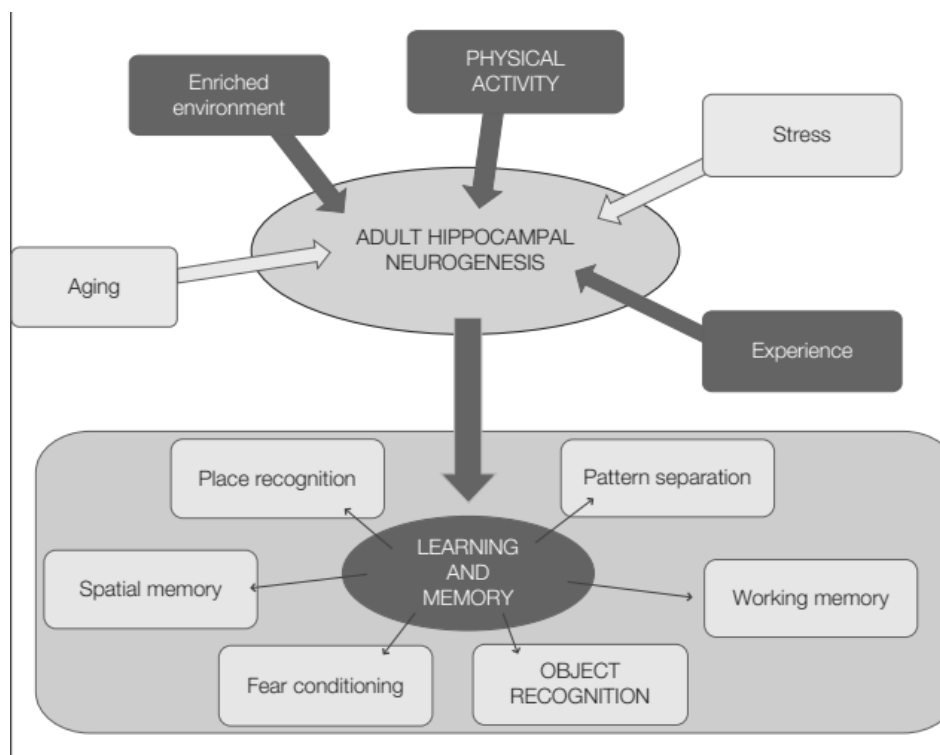
## **MECANISMOS INVOLUCRADOS EN LOS CAMBIOS DEL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL**

En 1890 William James fue el primero en hablar del término plasticidad para describir la naturaleza modificable del comportamiento humano, desde entonces el concepto de plasticidad se ha ido desarrollando incluyendo cambios estructurales y funcionales del cerebro en distintos niveles (Cotman & Berchtold, 2002).

La plasticidad cerebral a grandes rasgos se refiere al ajuste del Sistema Nervioso y puede expresarse como re-arreglos estructurales en el número de neuronas, en la dirección y número de los axones, de las dendritas y de los contactos sinápticos (Churchill, Galves, Colcombe & Cols, 2002). Esta es una de las propiedades especialmente importantes en el cerebro en desarrollo, pero esta posibilidad de cambiar persiste y se extiende a lo largo de la vida (Van Praag, Kempermann & Gage, 2000).

Durante muchos años, la idea de la generación de nuevas células neuronales en adultos fue ignorado, a pesar de distintas propuestas revolucionarias como la de Altman & Das en 1965, que planteó la posibilidad de neurogénesis en ratas adultas, y no fue hasta que en los 90`s se retomó ésta idea y se pudo comprobar la existencia de neurogénesis en adultos humanos. Esta teoría fue claramente demostrada en regiones cerebrales como la zona sub-ventricular de los ventrículos laterales y en la zona subgranular del giro dentado de la formación del hipocampo (Kempermann & Gage, 1999). Debido a la formación de nuevas estructuras neuroplásticas en el hipocampo los procesos sinápticos mejoran y de esta forma procesos cognoscitivos correlacionados con estas regiones, como el aprendizaje y la memoria también mejoran (Lafenetre, Leske, Wahle & Heumann, 2011).

La neurogenesis en adultos es un proceso dinámico regulado positivamente y negativamente por varios factores epigenéticos (ver ilustración 1), de hecho entre los factores que han sido estudiados destacan el estrés y el envejecimiento como factores que frenan la neurogénesis, y por el otro lado factores que logran incrementarlo como la experiencia, ambientes estimulantes y la actividad física (Lafenetre, Leske, Wahle & Heumann, 2011).



**Ilustración 1.** (Extraído de Lafenetre, Leske, Wahle & Heumann, 2011) Factores como el estrés y el envejecimiento (color gris claro) afectan negativamente la neurogénesis en el hipocampo adulto, mientras que un ambiente estimulante, la experiencia y la actividad física pueden incrementarla.

De esta forma, parece ser que el ejercicio físico voluntario, a nivel molecular produce un efecto benéfico al incrementar la plasticidad en redes sinápticas (Farmer, Zhao, Van Praag & Cols, 2004). Sin embargo, los mecanismos neurobiológicos asociados a estos cambios no han sido aclarados del todo.

Los primeros estudios que sentaron las bases para entender los mecanismos neurobiológicos que intervienen, fueron basados en modelos animales (Cotman & Berchtold, 2002), es hasta hace relativamente poco, que se han elaborado investigaciones en humanos para comprender estos mecanismos.

Uno de los cambios inducidos por el entrenamiento físico aeróbico, es el incremento de la plasticidad de redes sinápticas y neurotransmisión, por medio de la producción de algunos factores neurotróficos como el BDNF (sus siglas en inglés *Brain Derived Neurotrophic factors*)(Binder & Scharfman, 2004), ya que tienen propiedades neuro-protectoras que pueden mejorar la plasticidad cerebral (Cotman & Berchtold, 2002) y que además puede cambiar directamente la estructura y morfología del cerebro (Rojas, Abel, Lindschulten & Cols, 2006)

Datos obtenidos de investigaciones con humanos soportan lo que ya se ha demostrado en investigaciones animales, que el ejercicio aeróbico pueden incrementar la supervivencia neuronal y mayor resistencia cerebral (Carro & Cols, 2001), por medio de los factores neurotróficos, así el BDNF surge como factor clave mediador para la eficacia sináptica, la conectividad neuronal y plasticidad neuronal (Cotman & Berchtold, 2002).

El BDNF es indispensable para un saludable funcionamiento del cerebro (Tang, Chu, Hui, Helmeste. & Law, 2008), de hecho se ha encontrado que bajos niveles de concentración se relaciona con diagnóstico de depresión (Cunha & Cols, 2006). Sin embargo, típicamente estos pacientes presentan bajos niveles de actividad física, por lo que supondría también una relación que debe ser estudiada con detenimiento, ya que la disminución de concentración del BDNF en la depresión, aún no ha sido aclarada.

A nivel molecular, el organismo parecería retomar estrategias ontogénicas que normalmente han sido silenciadas durante la vida adulta para reparar y regenerar estructuras nerviosas y complejos sinápticos apropiados (Fiol, 2007). Así estas estrategias organizan los recursos existentes para luego generar nuevas conexiones (Kempermann Fabel, Ehninger & Cols, 2010).

Un reciente estudio de clínico mostró el papel benéfico de altas concentraciones de BDNF en atletas que sufrieron lesión en medula espinal, ya que estas elevadas concentraciones de BDNF, mejoró la recuperación de la lesión, lo que sugiere que el entrenamiento físico beneficia el funcionamiento cerebral, mejorando las capacidades de neuro-protección y neuro-plasticidad (Rojas, Abel, Lindschulten & Cols, 2008).

Por otro lado, un importante estudio que tuvo como objetivo medir el efecto del ejercicio aeróbico a corto plazo sobre la concentración de BDNF, logró mostrar el mecanismo relacionado con el efecto benéfico del ejercicio aeróbico (Tang, Chu, Hui, Helmeste. & Law, 2008); sus mediciones fueron a través de muestra de sangre tomada en 3 momentos: 50 minutos antes de empezar el ejercicio, 25

minutos después y por último, 50 minutos después del inicio. Además, se tomaron otras 3 muestras durante los días que los participantes no tuvieron sesión de ejercicio físico. Se encontró un incremento de concentración de BDNF en la muestra tomada 25 min después comparada con la de 50 minutos antes del ejercicio aeróbico, sin embargo entre la primera muestra y tercera no existió diferencia mostrando que el efecto del ejercicio es transitoria en las condiciones de éste estudio (15 min de ejercicio de banco<sup>2</sup>). Las concentraciones de BDNF permanecieron constantes durante los días de reposo (sin sesión de ejercicio aeróbico) lo que confirma que el simple incrementó de ejercicio aeróbico resulta en un aumento de los niveles de BDNF.

En los últimos años se ha estudiado también el papel del entrenamiento en resistencia o ejercicio anaeróbico y de hecho se comprobó que en humanos reduce los niveles de una sustancia llamada homocisteína (Vincent, Bourguignon & Vincent, 2006) e incrementa los niveles de un factor de crecimiento IGF-1<sup>3</sup> (Cassilhas, Viana & Grassman, 2007). La alta concentración de homocisteína está asociada con el deterioro del funcionamiento cognoscitivo (Schafer & Cols, 2005), enfermedad de Alzheimer (Smach & Cols 2011), y lesiones de materia blanca (Vermeer & Cols, 2002). Por lo contrario IGF1 promueve el crecimiento y sobrevivencia neuronal, y además mejora el rendimiento cognoscitivo (Cotman & Berchtold, 2002).

Liu-Ambrose, Nagamatsu, Graf & Cols (2010), realizaron un estudio cuasi-experimental con 155 mujeres de entre 65 y 75 años donde aplicaron dos distintos

---

<sup>2</sup> Ejercicio aeróbico que con ayuda de una plataforma a la altura del tobillo, el practicante en repeticiones sube y baja de ella.

<sup>3</sup> Por sus siglas en ingles Insulin-like Growth Factor 1.

programas de entrenamiento uno de resistencia y el otro de tono muscular y equilibrio, encontraron un mayor rendimiento cognoscitivo al evaluar funciones ejecutivas posterior al entrenamiento de resistencia físico, mientras que el programa de tono muscular y equilibrio no presentó mejoría. El estudio del entrenamiento anaeróbico es un tema poco estudiado que ofrecería muchas aplicaciones y por supuesto mayor conocimiento acerca de los mecanismos que benefician al funcionamiento cerebral por medio del entrenamiento en resistencia.

## CONCLUSIONES.

La presente revisión teórica buscó conocer una de las distintas líneas de investigación que se llevan a cabo desde el campo de las Neurociencias (Neurociencias aplicada al deporte) y así reportar los cambios cerebrales asociados a las personas que realizan actividad física, así como analizar variantes metodológicas en dichas investigaciones, como características de los participantes y características del entrenamiento, para que sirva como punto partida para futuras investigaciones, pero sobre todo como una forma de divulgación de un tema hasta hoy es poco estudiado.

México debe enfrentar la inactividad física, que ya es un grave problema público, pero que está apunto de empeorar, sino se hace algo, para que la población cuide su salud. A través de éste trabajo se puede comprobar que además de las enfermedades cardiovasculares, del metabolismo etc., la inactividad física acarrea problemas en el funcionamiento cerebral, como derrames cerebrales, deterioro cognoscitivo, que golpean con mayor ímpetu a los adultos mayores, un grupo que crecerá en México y el mundo en pocos años.

Ahora bien, se puede decir que existen cambios sustanciales en el funcionamiento cerebral debido al entrenamiento aeróbico, beneficiando los procesos neuronales, en sus redes sinápticas, neurotransmisión y sobrevivencia (Binder & Scharfman, 2004). Estos cambios son debido a distintos factores como el tiempo de entrenamiento, periodicidad o plazo en que se ha llevado a cabo, además intervienen otros factores como la edad del practicante e intensidad del ejercicio físico para poder observar los beneficios. El entrenamiento aeróbico necesita consistencia para encontrar cambios.



Los principales beneficios neurocognoscitivos que trae el entrenamiento aeróbico es la mejora del rendimiento en funciones ejecutivas, tales como, planeación, inhibición, resolución de conflictos y atención selectiva (Best, 2010), además mejoran los tiempos de reacción y la habilidades motoras (Davis, Tomporowski, McDowell & Cols, *in press*)

También se ha demostrado que un estilo de vida sedentario en niños influye negativamente en el desarrollo de funciones neurocognoscitivas como disminución en la actividad neuroeléctrica, y pobre aprovechamiento escolar, (Chaddock Erickson, Shaurya & Cols ,2010).

En el caso de los adultos mayores se ha encontrado que el ejercicio aeróbico aumenta el puntaje en pruebas neuropsicológicas que miden el rendimiento de las funciones ejecutivas en un entrenamiento a largo plazo (Voss, Prakash, Erickson & cols, 2010). De hecho también el entrenamiento aeróbico frena el declive neurodegenerativo en pacientes que padecen esclerosis y otras enfermedades neurodegenerativas (Castellano & White, 2008) y Alzheimer (Smach & Cols, 2011).

Por otro lado, el desarrollo de investigaciones que expliquen la relación entre el entrenamiento físico y los cambios cerebrales pueden ayudar a la prevención de enfermedades neurodegenerativas, y también, dicho conocimiento puede ser usado con fines de rehabilitación.

Hace pocos años, las investigaciones empezaron a centrarse principalmente en la los oxigenación cerebral y sus beneficios, por lo que parecía el ejercicio aeróbico

tomó parte central de éstos estudios, y se dejó muy de largo los efectos que tiene el ejercicio anaeróbico para nuestra salud cerebral.

Por eso es sumamente importante, entender las limitaciones que tiene el ejercicio físico aeróbico, ya que se ha señalado que en pacientes que sufren problemas cardiovasculares sería contraproducente (Arcoverde & Cols, 2011). Por este motivo se debe estudiar los beneficios de ejercicio anaeróbico o de resistencia, ya que podría representar beneficios cognoscitivos para pacientes que sufren alguna enfermedad neurodegenerativa que concurre con una patología cardiovascular (Aarsland & Cols, 2010).

El estudio del cerebro de los atletas permite observar cambios macro, micro estructurales y funcionales debidos al entrenamiento; parece ser que los deportistas logran resultados más sustanciales por diversas razones: primero por el tiempo de entrenamiento que llevan a cabo y su intensidad; segundo la constante repetición logra abreviar procesos neuronales, tercero, el entrenamiento al que se someten es mixto, es decir, sus ejercicios físicos combinan elementos aeróbicos y anaeróbicos; quinto, el estilo de vida de un atleta de élite suele tener un régimen alimenticio y de horas de sueño conveniente; y por último es sumamente difícil que un atleta de alto rendimiento comience a practicar en la adultez, por lo que se entiende que llevan un entrenamiento a largo plazo

Aunque existen algunos estudios acerca del cerebro de atletas, todavía no se aclara del todo las relaciones entre otras variables y diferencias entre deportistas de otra especialidad. La neuroeficacia es una propiedad que está siendo estudiada y que podría clarificar los mecanismos en el entrenamiento profesional para mejorar el proceso de apropiación de habilidades.

Existe una tendencia a usar indiscriminadamente los conceptos de ejercicio físico, entrenamiento y deporte, por lo que es importantísimo adjudicar los resultados correspondientes, al tipo de actividad física que se realizan en trabajos empíricos. Esta no es una tarea fácil en investigaciones en humanos, ya que muchos factores están relacionados en los cambios producidos en el funcionamiento cerebral, por lo que se debe empezar a trabajar en distintas poblaciones e ingeniar métodos con suficiente validez externa que logren evidenciar cambios.

Kempermann Fabel, Ehninger & Cols (2010), enfatizan la complejidad de la relación entre los beneficios cognoscitivos y el entrenamiento físico, ya que se ha demostrado que tanto beneficia la actividad física, como un ambiente enriquecido en experiencia.

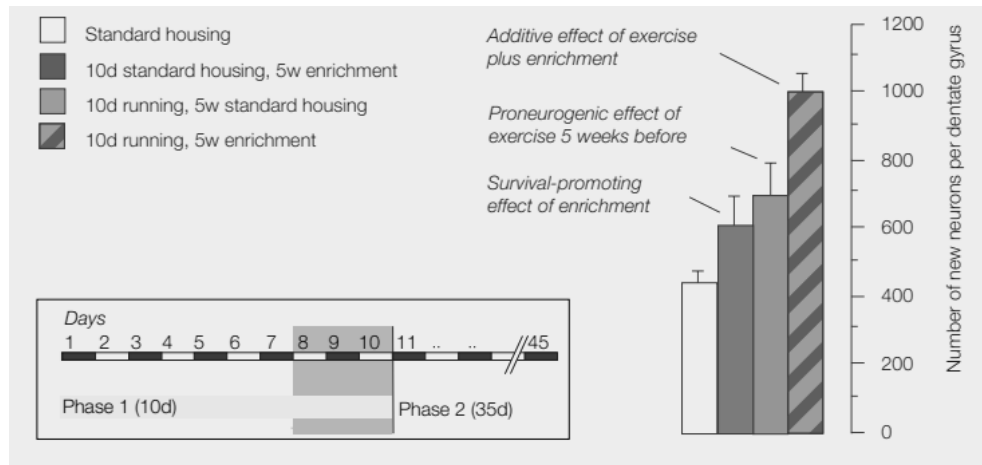
Por un lado, los estudios experimentales hechos con animales usan paradigmas diferentes para cada uno, para la actividad física colocan una rueda para que las ratas corran (voluntary wheel running) y por el otro lado un ambiente enriquecido<sup>4</sup> ofrece al sujeto usualmente una combinación de estímulos que promueven la curiosidad y el juego (Sale et al., 2009).

Ambos paradigmas han sido estudiados de manera separada para ganar validez interna y explicar su relación con los cambios encontrados. Pero en la vida cotidiana es imposible trasladar esta diferencia lo que conlleva a una interesante discusión donde la actividad física es sólo una parte de “una vida activa”. En la siguiente ilustración se ejemplifica el efecto del ejercicio físico y el ambiente

---

<sup>4</sup> Un ambiente enriquecido (enrichment environment) es una compleja combinación social e inanimada estimulación (Rosenzweig & Bennett, 1996) y consiste en un grupo extenso de animales que viven en una jaula grande con túneles y puentes modificables y juguetes.

enriquecido en modelos animales.



**Ilustración 2.** Extraído de Kempermann, Fabel, Ehninger & Cols (2010). Se muestra como el ejercicio físico en un paradigma *Wheel running voluntary* incrementa el número de nuevas neuronas en el giro dentado y por otro lado se observa como un ambiente enriquecido potencializa el proceso de neurogénesis en comparación con una jaula estándar.

Los mecanismos neurobiológicos que se han sido estudiados hasta ahora en modelos animales, están siendo asociados a los procesos humanos, por ese motivo, importantes líneas de investigación surgen para la comprensión de los beneficios del ejercicio físico en humanos (BDNF & IGF1).

Una hipótesis bastante interesante que debe de ser estudiada posteriormente propone un beneficio acumulado debido al entrenamiento físico. La actividad física no puede rescatar a la progenie de las células que ya se han perdido solo puede mejorar el potencial de proliferación de las células restantes (Kempermann Fabel, Ehninger & Cols). De esta forma la reserva neuronal se convierte en un mecanismo de compensación que puede ayudar en caso de enfermedad o

trauma, lo que sugiere que una falta de actividad física a temprana edad durante nuestra vida, sólo puede ser parcialmente compensado más adelante.

No cabe duda, que falta mucho por entender en la relación que existe entre entrenamiento físico y el funcionamiento cerebral, pero gracias a las avanzadas técnicas no invasivas que hoy se tienen, se puede estudiar con mayor amplitud éste fenómeno. No olvidemos que lleva pocos años el interés por saber en qué medida nuestro cerebro se beneficia por la actividad física y los aportes han sido muchos.

No se pretende hacer del ejercicio físico una panacea sino discutir sus alcances y limitaciones, es cierto que propicia un saludable funcionamiento cerebral como se ha mostrado en el presente estudio, pero no olvidemos que es una constante interacción entre el ambiente, la actividad cerebral, los factores histórico-sociales y factores psicológicos. Los procesos cognoscitivos son el resultado de la actividad cerebral como un todo en una constante interacción con el medio que se transforman y se modifican conjuntamente (Luria, 1979).

## BIBLIOGRAFÍA.

Aarsland D, Sardahaee F, Anderssen S, Ballard C. 2. Is physical activity a potential preventive factor for vascular dementia? A systematic review. *Aging Ment Health* 2010; 14: 386-95.

Achten J, Jeukendrup A., (2003). Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *International Journal of Sports Medicine*. 24(8):603-608.

Altman, J. & Das, G. (1965). "Post-natal origin of microneurons in the rat brain". *Nature* 207: 953-956.

Arcoverde C., Deslandes A., AraujoN. & Laks J. (2011). Ejercicio físico y demencia mixta: un caso clínico. *Psicogeriatría*, 3(2), 93-96

Ardila A. & Ostrosky F (2008). Desarrollo Histórico de las Funciones Ejecutivas *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias* 8(1), 1-21.

Babiloni C, Marzano N, Infarinato, F., Iacoboni, Rizza G., Aschieri P., Cibelli G. Soricelli A., Del Percio C. & Eusebi F. (2010). Neural efficiency of experts' brain during judgment of actions: A high-resolution EEG study in elite and amateur karate athletes. *Behavioral Brain Research*. 207, 466–475.

Banich, M. T. (2009). Executive Function: The search for an integrated account. *Current Directions in Psychological Science*, 18, 89–94.

Barbany J. (2002). *Fisiología del ejercicio físico y el entrenamiento*. Barcelona: paidotribo.

Bauman A, Lewicka M, Schöppe S, (2005). *The Health Benefits of Physical Activity*

in Developing Countries. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

Best J. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review* 30, 331–351.

Blair S, LaMonte M, Nichaman M, (2004). The evolution of physical activity recommendations: how much is enough? *American Journal of Clinical Nutrition*. 79, 913-920.

Carlson, N. (2006). *Fisiología de la Conducta* (8a ed). España: Pearson Educación.

Carro, E. et al. (2001) Circulating insulin-like growth factor I mediates the protective effects of physical exercise against brain insults of different etiology and anatomy. *Journal of Neuroscience*. 21, 5678–5684.

Cassilhas,R, Viana, V, Grassmann, V, Santos, R., Santos, R. F., Tufik, S. & Mello, M. (2007). The Impact of Resistance Exercise on the Cognitive Function of the Elderly. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39(8), 1401-1407.

Casis & Zumalabe, (2008) *Fisiología y Psicología de la actividad física y el deporte*. Barcelona: Elsevier España.

Castellano V. & White L. (2008). Serum brain-derived neurotrophic factor response to aerobic exercise in multiple sclerosis. *Journal of the Neurological Sciences* 269, 85– 91.

Chaddock L, Erickson K, Prakash R, Vanpatter M, Voss M, Pontifex M, Raine L, Hillman C, and Kramer A. (2010). Basal Ganglia Volume Is Associated with Aerobic

Fitness in Preadolescent Children. *Developmental Neuroscience* 32: 249-256.

Churchill JD, Galves R, Colcombe S, Rodney AS, Kramer AF, Greenough WT. (2002). Exercise, experience and the aging brain. *Neurobiology of Aging*. 23, 941-955.

Chaddock, L, Erickson, Shaurya, Kim, Voss, VanPatter, Pontifex, Raine, Konkel, Hillman, Cohen & Kramer (2010). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain in research*. 1358, 172–183.

Colcombe S, Erickson K, Scalf P, Kim J, Prakash R, McAuley E, Elavsky S, Marquez D, Hu L, and Kramer A. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *Journals of Gerontology Series A: Biological and Medical Sciences*, 61(11), 1166-1170.

Cotman, C. & Berchtold, N. (2002). Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *TRENDS in Neurosciences*. 25(6), 295-301.

Cunha A., Frey B., Andreatza A., Goi J., Rosa A., Goncalves C., Santin A. & Kapczinski F. (2006). Serum brain-derived neurotrophic factor is decreased in bipolar disorder during depressive and manic episodes, *Neuroscience Letters*. 398 215–219.

Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E. et al. (in press). Exercise improves executive function and alters neural activation in overweight children: A randomized controlled trial. *Health Psychology*.



De La Reina L, & Martínez V. (2003). Manual de teoría y práctica del acondicionamiento físico. Madrid: CV Ciencias del Deporte.

Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (2006). Estado de nutrición de niños y mujeres en México. Extraído el 8 de Agosto, 2011, de <<http://www.bdsocial.org>>

Farmer, J., Zhao, X., van Praag, H., Wodtke, K., Gage, F.H. & Christie B.R.(2004). Effects of voluntary exercise on synaptic plasticity and gene expression in the dentate gyrus of adult male. Sprague-Dawley rats in vivo. *Neuroscience* 124, 71-79.

Fiol M. (2007). Factores Neurotróficos. *Arch. neurol. neuroc. neuropsiquiatr.* 14 (1) 6-12

Gaoxia W, Jing L. (2010). Sport expert's motor imagery: Functional imaging of professional motor skills and simple motor skills. *Brain Research*, 1341, 52 – 62.

Harada T., Okagawa S. & Kubota K. (2004).Jogging improved performance of a behavioral branching task: implications for prefrontal activation. *Neuroscience Research.* 49(3), 325-337.

Herrador J. (2008). Origen etimológico de términos relacionados con la Actividad Física y la medicina del deporte. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.* 8, (29), 41-61. Recuperado el 26 de Agosto, 2011, en: <Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista29/artetimologia65.pdf>

Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF (2008): Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Rev Neuroscience* 9: 58–65.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009). Encuesta Nacional sobre Uso

del Tiempo 2009, Microdatos de 2010, Extraído el 8 de Agosto, 2011, de [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx).

Jacini W, Cannonieri G, Fernandes P., Bonilha L, Cendes F, Li L, (2009). Can exercise shape your brain? Cortical differences associated with judo practice. *Journal of Science and Medicine in Sport* 12, 688–690.

Janssen I. (2007). Physical activity guidelines for children and youth. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 32, 109–121. Extraído el 9 de Agosto, 2011, de <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/H07-123>

Janssen I, & Leblanc A, (2010). Systematic Review of the Health Benefits of Physical Activity in School-Aged Children and Youth. *International Journal of Behavioural Nutrition and Physical Activity*, 7, 40. Extraído el 8 de Agosto, 2011, de <http://www.ijbnpa.org/content/7/1/40>

James, W. (1890). *The Principles of Psychology*, Holt, New York

Jiménez, M.G., Martínez, P., Miró, E. y Sánchez, A.I. (2008). Bienestar psicológico y hábitos saludables: ¿están asociados a la práctica de ejercicio físico? *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 8, 1, 185-202.

Kemperman G, Fabel, Ehninger, Babu, Leal-Galicia, Garthe & Wolf (2010). Why and how physical activity promotes experience-induced brain plasticity. *Frontiers in Neuroscience* .189, 1-9.

Kramer A & Erickson K. (2008). Capitalizing on cortical plasticity: influence of physical activity on cognition and brain function. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 11(8), 342-348.

Lafenetre P., Leske O., Wahle P. & Heumann R. (2011). The beneficial effects of

physical activity on impaired adult neurogenesis and cognitive performance. *Frontiers in neuroscience*. 5(51), 1-8.

Lawlor, D.A. y Hopker, S.W. (2001). The effectiveness of exercise as an intervention in the management of depression: Systematic review and meta regression analysis of randomised controlled trials. *British Medical Journal*, 322, 763-767.

Laurin, D., Verreault, R., Lindsay J, MacPherson K., Rockwood K., (2001). Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons. *Arch . Neurol*. 58, 498–504.

Larson, Wang, James et al. (2006) Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age or older. *Ann. Intern. Med.* 144, 73–81.

Lee, D., Chen, Y., & Schlaug, G., (2003). Corpus Callosum: musicians and gender effects. *Neuroreport* 14, 205-209.

Linder, K. (1999). Sport Participation and Perceived Academic Performance of School Children and Youth. *Pediatric Exercise Science*, 11, 129-144.

Liu-Ambrose T., Nagamatsu L., Voss M., Khan K. & Handy T. (2011). Resistance training and functional plasticity of the aging brain: a 12-month randomized controlled trial. *Neurobiology of Aging* *IN PRESS*.

Liu-Ambrose T, Nagamatsu LS, Graf P, Beattie BL, Ashe MC, Handy T. (2010) .Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial. *Archive Internal Medical*. 170(2), 170-8.

Lüschen, G. & Weis, K. (1976). Sociología del deporte. Valladolid: Miñon.

Mejía-Arango S, Miguel-Jaimes A, Villa A, Ruiz-Arregui L, Gutiérrez-Robledo LM (2007). Deterioro cognoscitivo y factores asociados en adultos mayores en México. *Salud Publica Mex*, 49 (4), 475-481.

México. Secretaria de Educación Pública. Dirección General de Desarrollo de la Gestión e Innovación Educativa. Subsecretaría de Educación Básica (2010). *Guía de Activación Física Educación Primaria [Versión electrónica]*. Programa Escuela y Salud.

México. Secretaria de Salud. (2010). Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria. Estrategia contra el sobrepeso y la obesidad [Versión electrónica]. Extraído el 8 de Agosto, 2011.

Nakata H, Yoshie M, Miura A, & Kazutoshi K, (2010). Characteristics of the athletes' brain: Evidence from neurophysiology and neuroimaging. *Brain Research*, 62, 197-211.

Nemoto K, Gen-no H, Masuki S, Okazaki K, Nose H. (2007). Effects of high intensity interval walking training on physical fitness and blood pressure in middle-aged and older people. *Mayo Clinical Procedure*, 82, 803-811.

Nielsen, J & Cohen, L, (2008). The Olympic brain. Does corticospinal plasticity play a role in acquisition of skills required for high-performance sports. *Journal of Psychology*, 586, 65-70.

Nocon M, (2008). Association of physical activity with all-cause and cardiovascular mortality: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 15, 239-46.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO (1978). Carta Internacional de la Educación Física y el Deporte. Extraído el 26 de Agosto, 2011, en: [portal.unesco.org/.../ev.php-URL\\_ID=13150&URL\\_DO=D](http://portal.unesco.org/.../ev.php-URL_ID=13150&URL_DO=D).

[Organisation for Economic Co-operation and Development](http://www.oecd-ilibrary.org/statistics) (2009). Society at a Glance: OECD Social Indicators. Extraído el 8 de Agosto, 2011, de <http://www.oecd-ilibrary.org/statistics>

Organización Mundial de la Salud (2007). A guide for population-based approaches to increasing levels of physical activity: implementation of the WHO Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health.

Organización Mundial de la Salud (2009). Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Ginebra: WHO Library.

Sale, A., Berardi, N., and Maffei, L. (2009). Enrich the environment to empower the brain. *Trends Neurosci.* 32, 233–239.

Scarmeas N, Levy G, Tang X, Manly J, & Stern Y. (2001). Influence of leisure activity on the incidence of Alzheimer's disease. *Neurology* 57, 2236–2242

Schafer, J.H., Glass, T.A., Bolla, K.I., Mintz, M., Jedlicka, A.E., Schwartz, B.S., 2005. Homocysteine and cognitive function in a population-based study of older adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* 53, 381–388.

Schlaugh, G., (2001). The brain of musicians. A model for functional and structural adaptation. *Ann. NY Acad. Sci.* 930, 281-299.

Schneider, S, Vogt T, Frysck J. Guardiera P, & Strüder, H. (2009). School sport: a neurophysiological approach. *Neuroscience Letters* 467, 31–134.

Smach M, Jacob N, Golmard JL, Charfeddine B, Lammouchi T, Ben Othman L, Dridi H, Bennamou S & Limem K. (2011). Folate and homocysteine in the cerebrospinal fluid of patients with Alzheimer's disease or dementia: a case control study. *Europe Neurology*. 65(5), 270-8.

Tang S., Chu e., Hui T., Helmeste D. & Law C. (2008). Influence of exercise on serum brain-derived neurotrophic factor concentrations in healthy human subjects *Neuroscience Letters*. 431, 62–65

Paterson DH, Jones GR, Rice CL. (2007). Ageing and physical activity: evidence to develop exercise recommendations for older adults. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 32, 69–108.

Paterson D, Warburton D. (2010). Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity Guidelines. *International Journal of Behavioural Nutrition and Physical Activity*. 7, 38. Extraído el 8 de Agosto, 2011 de <http://www.ijbnpa.org/content/7/1/38>

Pascual-Marqui (2002). Standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods & Findings in Experimental & Clinical Pharmacology*, 24, 5-12.

Physical Activity Guidelines Advisory Committee (2008). *Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report 2008*. Washington DC: US Department of Health and Human Services.

Pinel, J. (2007). *Biopsicología* (6a ed). España: Pearson Educación.

Ramírez W., Vinaccia S. & Suárez G. (2004). El impacto de la actividad física y el deporte sobre la salud, la cognición, la socialización y el rendimiento académico: una revisión teórica. *Revista de Estudios Sociales*. 18, 67-75

Redes Televisión Española (2010). Deporte para cerebro más sano. Extraído en <http://www.rtve.es/television/20101104/redes-deporte-para-cerebro-mas-sano/367461.shtml> el 6 de enero de 2011.

Rojas S, Abel T., Lindschulten R., Hollmann W., Bloch W, & Struder K. (2008). Impact of exercise on neuroplasticity-related proteins in spinal cord injured humans *Neuroscience*. 153, 1064 –1070

Rooks C., Thom N., McCully K. & Dishman R. (2010) Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: A systematic review. *Progress in Neurobiology*. 92, 134–150.

UN-Habitat (2004). *State of the World's Cities 2004/2005: Globalization and Urban Culture*. New York, NY: United Nations Human Settlements Programmed (Habitat) Extraído el 26 de Agosto, 2011, en: <http://ww2.unhabitat.org/mediacentre/sowckit.asp>

Van Prag H, Kempermann G, Gage FH. (2000). Neural Consequences of Environmental Enrichment. *Nature Reviews Neuroscience*.1, 191-198.

Vermeer, S.E., van Dijk, E.J., Koudstaal, P.J., Oudkerk, M., Hofman, A., Clarke, R., Breteler, M.M., (2002). Homocysteine, silent brain infarcts, and white matter lesions: The Rotterdam Scan Study. *Annals of Neurology*. 51, 285–289.

Vicente-Rodríguez G., Ara I, Pérez-Gómez J, Dorado C, Serrano-Sánchez J.A.,

Calbet J, (2006). Interacción de los tejidos blandos sobre la salud del esqueleto durante el crecimiento: influencia de la actividad física. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 16. Extraído el 8 de Agosto, 2011, de: <http://revistamotricidad.es/openjs/index.php?journal=motricidad&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=133>

Vincent H., Bourguignon C. & Vincent K. (2006). Resistance Training Lowers Exercise-Induced Oxidative Stress and Homocysteine Levels in Overweight and Obese Older Adults. *Obesity*. 14, 1921–1930.

Voss, Prakash, Erickson, Basak, Chaddock et al (2010). Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2 (32), 1-17.



## ANEXO.

**Tabla 2. Datos condensados de la revisión teórica. Principales estudios que aportan evidencia empírica sobre cambios asociados al funcionamiento cerebral.**

<b>Tipo de actividad física</b>	<b>Perioricidad</b>	<b>Plazo</b>	<b>Resultados</b>	<b>Tipo de Población</b>	<b>Estudio</b>
Entrenamiento Aeróbico	2 a 3 veces por semana	6 meses	incremento volumétrico en materia gris y blanca	60-79	Colcombe, Erickson, Scaff & Cols (2006)
Entrenamiento Aeróbico	3 veces por semana	6 meses	incremento volumétrico en ganglios basales	niños 10-11 años	Chaddock, Erickson, Prakash & Cols (2010),
entrenamiento mixto	alto rendimiento	10 años o más	incremento volumétrico en la CPF	atletas de Judo	Jacini, Cannonieri, Fernandes & Cols (2009)
Entrenamiento Aeróbico	3 veces por semana	12 semanas	mayor desempeño en baterías de funciones ejecutivas	adultos no atletas	Harada, Okagawa & Kubota (2004)
entrenamiento mixto	alto rendimiento	5 años o más	activación en zonas pre frontales	expertos en Natación	Gaoxia W. & Jing L. (2010)
Entrenamiento Aeróbico	2 veces por semana	6 meses	mejora del rendimiento en funciones ejecutivas	niños 10-11 años	(Best, 2010),
Entrenamiento Mixto	3 veces por semana	6 años	menor probabilidad de padecer Alzheimer	adultos mayores	Larson, Wang, James & cols, (2006)
Entrenamiento Mixto	alto rendimiento	10 años o más	evidencia de plasticidad en la corteza motora	atletas olímpicos	Nielsen & Cohen (2008)
Entrenamiento en Resistencia	3-5 veces por semana	12 semanas	procesos atencionales y funciones ejecutivas	adultos mayores	Liu-Ambrose, Nagamatsu, Voss & Cols (2011)
Actividades Recreativas	variable	7 años	menor riesgo de sufrir enfermedades neurodegenerativas	adultos mayores	Scarmeas, Levy, Tang & Cols (2001)
Entrenamiento Aeróbico	3 veces por semana	10-15 semanas	mejoría en el procesamiento del lenguaje	niños 9-10 años	Schneider, Vogt, Frysch. Guardiera & Strüder, (2009)
Entrenamiento Aeróbico	2-3 veces por semana	1 año	mayor desempeño en baterías de funciones ejecutivas	adultos mayores	Voss, Prakash, Erickson & cols, (2010)