



**Incremento de la actividad física y su efecto en la capacidad de aprendizaje  
dependiente del hipocampo**

Juan David Almarales Sanabria

Facultad de Ciencias Sociales, Humanidades y Artes

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Maestría en educación

Doctor Mario Rosero Pahi

28 de octubre de 2021

### Resumen

En esta investigación se analizó el efecto de incrementar la actividad física, sobre la capacidad de aprendizaje dependiente del hipocampo. La muestra fueron 36 estudiantes del pregrado de cultura física, deporte y recreación de la Universidad Santo Tomas, seccional Bucaramanga. Se inició midiendo la capacidad de memoria hipocampal y estriatal de cada sujeto mediante una tarea de búsqueda visual, que consistió en la localización de un estímulo camuflado entre diversos distractores. Los resultados obtenidos correspondían al tiempo de aprendizaje (dependiente del hipocampo) y el tiempo de reacción (dependiente del cuerpo estriado). A continuación, se incrementó progresivamente la actividad física de cada sujeto durante cuatro semanas. La intensidad de la actividad física se calculó en función a la frecuencia cardiaca máxima de cada sujeto. Finalizada la intervención, se realizó nuevamente la tarea de búsqueda visual obteniendo los nuevos tiempos de aprendizaje y reacción. Al comparar las dos mediciones, se evidenció una disminución en la media del tiempo de aprendizaje y un aumento en la media del tiempo de reacción, demostrando así, la existencia de una interdependencia entre las variables estudiadas. A partir de los resultados obtenidos, se torna pertinente prestar especial atención a la influencia que tiene el estado físico de un estudiante sobre su capacidad de aprendizaje y, a revisar si las instituciones de educación superior colombianas contemplan dentro de sus estrategias de excelencia académica la interdependencia que tienen estas variables.

**Palabras Clave:** Actividad física, aprendizaje, hipocampo, tareas de búsqueda visual.

### **Abstract**

In this research, the effect of increasing physical activity on the hippocampus-dependent learning capacity was analyzed. The sample consisted of 36 undergraduate students in physical culture, sports and recreation from the Santo Tomas University, Bucaramanga section. A visual search task was started by measuring the hippocampal and striatal memory capacity of each subject, by means of which it consisted of locating a camouflaged stimulus between various distractors. The results obtained correspond to the learning time (dependent on the hippocampus) and the reaction time (dependent on the striatum). The physical activity of each subject was then progressively increased over four weeks. The intensity of physical activity was calculated based on the maximum heart rate of each subject. After the intervention, the visual search task was performed again, obtaining the new learning and reaction times. When comparing the two measurements, there was evidence of a decrease in the mean learning time and an increase in the mean reaction time, thus demonstrating the existence of an interdependence between the variables studied. Based on the results obtained, it becomes pertinent to pay special attention to the influence that the physical state of a student has on their learning capacity and, to review if Colombian higher education institutions contemplate within their academic excellence strategies the interdependence that have these variables.

**Key Words:** Physical activity, learning, hippocampus, visual search tasks.

**Tabla de contenido**

Introducción	9
1 Planteamiento del problema de investigación	11
1.1 Descripción del problema de investigación	11
1.2 Justificación	14
1.3 Hipótesis	16
1.4 Objetivos	17
2 Marco referencial	17
2.1 Antecedentes	17
2.2 Marco teórico y conceptual	35
2.3 Marco legal	83
3 Metodología	84
3.1 Tipo de paradigma	85
3.2 Tipo de investigación	85
3.3 Población y muestra	85
3.4 Criterios de elegibilidad y exclusión	85
3.5 Consideraciones éticas	86
3.6 Instrumentos de recolección de información	86
3.7 Variables	88
3.8 Recolección de los datos	90
4 Análisis y resultados	93
4.1 Análisis de los datos	93
4.2 Resultados	93

5	Discusión	99
6	Conclusiones	101
7	Recomendaciones	102
	Referencias bibliográficas	103
	Apéndices	127

**Lista de tablas**

Tabla 1 <i>Descripción sociodemográfica de la población de estudio</i>	94
Tabla 2 <i>Resultados análisis de correlación</i>	95
Tabla 3 <i>Estadísticos descriptivos tiempos de aprendizaje</i>	96
Tabla 4 <i>Estadísticos descriptivos tiempos de reacción</i>	98
Tabla 5 <i>Resultados ANOVA multifactorial</i>	99

**Lista de figuras**

Figura 1 <i>Acoplamiento neurovascular</i>	36
Figura 2 <i>Tarea de búsqueda visual por cuadrantes</i>	88
Figura 3 <i>Tarea de búsqueda visual por cuadrantes sobrepuestos</i>	88
Figura 4 <i>Progresión semanal de la FC máxima en los estudiantes</i>	92
Figura 5 <i>Comparación de tiempos de aprendizaje pre y pos de los estudiantes</i>	96
Figura 6 <i>Comparación de los tiempos de reacción pre y pos de los estudiantes</i>	97

**Lista de apéndices**

Apéndice A. Cuestionario GPAQ	127
Apéndice B. Cuestionario PAR-Q	130
Apéndice C. Consentimiento informado	132



### **Introducción**

¿Qué factores influyen en el rendimiento académico de un estudiante?, ¿por qué algunos estudiantes destacan por su rendimiento académico y otros no? Estos son algunos de los interrogantes que han intrigado por mucho tiempo a las instituciones educativas comprometidas con lograr la excelencia académica de sus educandos y a los investigadores interesados en el tema. Algunos autores han orientado sus investigaciones al análisis de factores como el nivel de comprensión lectora, los hábitos de estudio, las preferencias de lectura, entre otros, pero, son escasas las investigaciones que relacionan la práctica regular de actividad física (AF) con un mejor rendimiento académico. La AF se refiere a todo movimiento del cuerpo producido por los músculos esqueléticos y que implican un gasto energético por encima de los niveles basales.

Investigaciones recientes han demostrado que la práctica recurrente de AF mejora la capacidad cerebral, principalmente la zona hipocampal, que entre otras funciones, se encarga de la memoria y la ubicación espacial (Maass et al., 2015; Moon et al., 2016).

Con el ánimo de extrapolar estos resultados al contexto académico, ya que el hipocampo es una zona cerebral fuertemente ligada a los procesos cognitivos necesarios para realizar las tareas académicas, nació el objeto de esta investigación, con la que se pretende determinar si el incremento de la AF ejerce un efecto positivo en la capacidad de aprendizaje dependiente del hipocampo, contribuyendo de esta forma a la identificación de factores que inciden en el desempeño académico de los estudiantes.

Para lograr el objetivo se realizó un análisis comparativo de los tiempos de aprendizaje y de reacción obtenidos al aplicar una prueba de tarea de búsqueda visual, antes y después de realizar una intervención al nivel de AF que reportaron los estudiantes. Cabe destacar que no es

del alcance de este trabajo identificar si se presentaron cambios en la estructura o en la bioquímica cerebral de los estudiantes.

Después de realizada la intervención y analizar los datos obtenidos, se evidenció que la media del tiempo necesario para el aprendizaje disminuyó y la media del tiempo de reacción aumentó.

A partir de los resultados obtenidos se traza un referente hacia el cual dirigir futuras investigaciones que permitan ahondar sobre el tema, así como también, brindar a las instituciones educativas bases científicas que les permitan diseñar estrategias acordes a la realidad de sus educandos con el fin de seguir avanzando hacia la excelencia académica.

## **1 Planteamiento del problema de investigación**

### **1.1 Descripción del problema de investigación**

La actividad física hace parte del estilo de vida del hombre. Este tipo de actividad se ha clasificado en tres dominios diferentes, siendo el dominio ocupacional, el más relevante en estudios como el de Yen y Kaplan (1998). Los estudiantes universitarios se han convertido en una de las poblaciones más propensas al sedentarismo, debido a que asumen conductas no saludables, las cuales con el tiempo pueden afectar negativamente su salud. Ante esta situación, diversas universidades han diseñado estrategias que incluyen la generación de espacios dentro de los horarios académicos, con el fin de fomentar la realización de actividad física entre sus estudiantes, disminuyendo de esta forma el sedentarismo que es característico en este grupo poblacional (Loprinzi et al., 2017). Sin embargo, estos niveles de actividad física siguen manifestando declive dado que los parámetros necesarios para la adquisición de este tipo de actividad no se han logrado cumplir, teniendo como referente lo mencionado por la OMS y el Colegio Americano del Deporte, ACSM (por sus siglas en inglés), los cuales indican en sus documentos que el mínimo de minutos semana para la realización de actividad física es de 150 minutos sumando a esto, que la actividad debe superar los 600 MET'S (Crespo et al., 1996). Es aquí donde se origina esta investigación, puesto que, a nivel local, es decir en el contexto bumangués, no se conocen de forma precisa los efectos de la actividad física y el desempeño en el aprendizaje dependiente del hipocampo en estudiantes universitarios pertenecientes a estos planteles educativos (Manson et al., 1992).

Los resultados de este análisis entregan un punto de partida para analizar a fondo los beneficios obtenidos de estos espacios académicos y brindan herramientas en pos del mejoramiento para así garantizar el desarrollo integral del futuro profesional (Rimm et al., 1996).

Los resultados de las pruebas SABERPRO describen que un 33% de los estudiantes universitarios presentan dificultades. Estos resultados se relacionan con los promedios obtenidos por los estudiantes de cultura física en la Universidad Santo Tomas (seccional Bucaramanga), reportado por el ICFES. En los factores relacionados a la lectura, la comunicación escrita y otras habilidades inherentes al aprendizaje, la ubicación general fue en el quintil cinco, lo que traduce en un rendimiento regular. A su vez, estos datos se asocian con el informe de bajo nivel de aprendizaje publicado por la UNESCO (2017), en el cual se describe que el 71% de la población adolescente no ha alcanzado los niveles mínimos de competencia al momento de iniciar estudios los superiores (Sheard, 2009). Las habilidades cognitivas son fundamentales para garantizar el éxito estudiantil; sin embargo, en la mayoría de los casos estas se limitan solo a aquellas que conforman el plan de estudios (Trueman y Hartley, 1996). Al respecto, Baker (2004) expresa que “Este fin utilitarista puede ser permisivo con la forma en como el estudiante se apropia del conocimiento, limitando las habilidades para el momento académico y más aún cuando este solo está delimitado por parámetros evaluativos”.

En términos generales, quien inicia con estudios universitarios ha pasado por un proceso de doce años en las aulas, pero este aspecto no necesariamente guarda relación de cómo ha evolucionado la interacción del sujeto con las áreas de conocimiento o si ha desarrollado hábitos de estudio acertados. Así las cosas, se torna pertinente seguir indagando sobre el tema (Wang, 2012). Por otro lado, a lo largo de la historia los sistemas de aprendizaje a nivel cerebral han sido analizados en detalle. Estas investigaciones se han realizado con diferentes enfoques polisémicos, catalogando la lectura como una interacción entre un lector y un medio, la cual tiene lugar en un contexto determinado (Florence et al., 2008). Relacionando este proceso con los medios de enseñanza, se puede decir que la lectura y la escritura se han convertido en actos

mecánicos que le restan didáctica a la planificación de las clases, lo cual se traduce en las consecuentes falencias de los ámbitos educativos (Peterson y Barrett, 1987).

Ahora bien, en el contexto universitario, principalmente entre los estudiantes que se encuentran en las etapas de adolescencia y juventud, se deben considerar otros factores que también se pueden relacionar con el rendimiento académico. Entre los más significativos se encuentran los factores de riesgo comportamentales: baja o nula actividad física, consumo excesivo de alcohol y consumo de productos derivados del tabaco.

Respecto a la actividad física, se ha encontrado que un estilo de vida activo influye directamente en el bienestar psicológico y emocional (Chamorro-Premuzic y Furnham, 2003). Caso contrario se presenta en el consumo de bebidas alcohólicas. De la Espriella (2016), encontró que el 62% de los estudiantes universitarios de Medellín que se encuentran en el rango etáreo 16 a 39 años tenían consumo alcohólico de riesgo, el 31% tenía síntomas de dependencia y el 7%, consumo perjudicial. Con el paso del tiempo esta problemática puede afectar directamente a las comunidades ya que estos futuros profesionales corren el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, generalmente progresivas que provocan trastornos psicológicos, físicos, biológicos y sociales (Richardson et al., 2012), así como otros componentes que afectan la calidad de vida en todas los círculos sociales, incluyendo la educación, la económica y las relaciones familiares (Fenollar et al., 2007).

La industrialización fomento la creación de estándares de calidad para los nuevos profesionales y su objetivo se focalizó en prepararlos para asumir las áreas que contribuyen al crecimiento social y económico de una región; la forma en cómo se mide un futuro egresado universitario es por el rendimiento académico. Fuentes-Navarro (2003) afirma que el rendimiento académico “Es un nivel de conocimientos demostrado en un área o materia

comparado con la norma de edad y nivel académico”, relacionándose con la reflexión de Casassus (2002) quien determina que “en la educación el rendimiento se vincula con la racionalización de la productividad y calidad, cuantificando el rendimiento de: procesos, recursos y actores; persiguiendo como fin, poner en términos de cifras su contribución al desarrollo económico y social”, teniendo en cuenta lo anterior se propone la siguiente pregunta problema: ¿Cuál es el efecto de incrementar la actividad física en la capacidad de aprendizaje dependiente del hipocampo en estudiantes de cultura física, deporte y recreación de la Universidad Santo Tomas, seccional Bucaramanga, Colombia, durante el año 2020?

## **1.2 Justificación**

Wing et al. (2009), define la actividad física (AF) como “cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que implica gasto energético por encima de los niveles basales”. Es tanta la relevancia de la AF en el ámbito universitario, que a partir de su estudio se han identificado variables asociadas a hábitos de estudios inadecuados y baja capacidad de comprensión (Jung y Ginis, 2008).

Estudios asociados muestran estos factores como determinantes para el análisis del origen de conductas asociadas a formación errónea de competencias y problemas de aprendizaje (Deliens et al., 2015). Es conocido también que la consecuencia principal se manifiesta en rangos variables de los promedios académicos, lo que desencadena el aumento de la deserción estudiantil o el incremento en los índices de alumnos repitentes. Esto limita la capacidad de desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo de los estudiantes universitarios (Chatzisarantis y Hagger, 2007).

En diversos estudios relacionados con las conductas que los jóvenes adquieren durante su paso por las instituciones universitarias, se ha evidenciado una mayor prevalencia de factores de

riesgo comportamentales con respecto a la población en general (Henson et al., 2013). Bajo este sustento científico, se puede concluir que la población universitaria latinoamericana propende hacia estilos de vida poco saludables (Buckworth y Nigg, 2004).

Es importante tener en cuenta que en términos de calidad de vida y bienestar, los protocolos regulados de actividad física permiten el retraso paulatino o desaceleración del envejecimiento en los diferentes grupos poblaciones, se prioriza la salud como estado condicional óptimo, pues los cambios estructurales por edad de la población mayor en Colombia se estiman en un 12% por encima de la última cifra proyectada desde el 2017 al 2050, es decir que se tendrán 14,3 millones de personas por encima de los 65 años. Con predominancia a ser las mujeres la cifra más alta en esta estadística según el DANE (2020). En conclusión, la actividad física se abordará como estado relacionado a mejorar las diferentes habilidades para realizar alguna acción física, muscular, motriz, tarea o actividad en el desempeño de forma regular caracterizado por el dinamismo, energía y vitalidad que garantiza a las personas, disfrutar del tiempo de ocio activo y afrontar las posibles emergencias imprevistas, evitando de esta forma ceder ante la fatiga. Se llega a considerar como una aptitud o forma física evaluable en un entorno físico, social y psicológico dentro de un amplio espectro de relación entre la actividad física y el comportamiento hipocampal, garante de un proceso en el que se pueda llegar a establecer o caracterizar los indicadores asociados al impacto sobre el rendimiento académico en estudiantes universitarios (Donnelly et al., 2016).

El mercado actual de mano de obra en el cual se encuentran inmersos los futuros profesionales, exige excelencia en su formación académica, la cual se cuantifica por el rendimiento académico. Así mismo, el modelo industrial contemporáneo implantado en las instituciones exhorta a una mayor productividad, mejores procesos de producción, óptima

calidad y servicios destacados en los trabajadores (McAuley et al., 2007). En otras palabras, este constructo engloba diversas esferas del ser humano y se erige como una verdad a través de la evaluación, “como la verificación de la adquisición del conjunto de valores, actitudes, conductas y competencias” (Deliens et al., 2015).

Las instituciones de educación superior colombianas en su aspiración de graduar profesionales cada vez más competentes, planifican los entornos curriculares y constantemente generan proyectos y programas que procuran mejorar los índices de permanencia estudiantil, así como los índices de competencia profesional de sus egresados (Nelson, 2006); no obstante, todos aspectos requieren estudiarse para establecer la influencia e importancia que cada uno tiene en el proceso educativo (Stephoe et al., 1997).

Siendo lo anterior aspectos de gran relevancia y dado que los determinantes del rendimiento académico son complejos de identificar, este estudio puede arrojar causalidades sobre factores que infieran en el desempeño académico de los estudiantes; así como también, generar conceptos acertados que permitan crear diversas estrategias que contribuyan a elevar la calidad de los profesionales en cultura física, deporte y recreación, en Colombia (Chatzisarantis y Hagger, 2007).

### **1.3 Hipótesis**

El incremento de la actividad física en estudiantes de cultura física, deporte y recreación, ejerce un efecto positivo en la capacidad de aprendizaje dependiente del hipocampo.



## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Demostrar que el incremento de la actividad física ejerce un efecto positivo en la capacidad de aprendizaje dependiente del hipocampo; por medio de la aplicación de una prueba de tarea de búsqueda visual, realizada antes y después de incrementar el nivel de AF de los estudiantes; con el fin de contribuir a la identificación de los factores que inciden en el desempeño académico de los estudiantes.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar la población de estudio según las variables sociodemográficas.
- Determinar si existe asociación entre los minutos dedicados a la actividad física y los tiempos de aprendizaje y reacción.
- Demostrar la existencia de cambios en los tiempos de aprendizaje pre y pos-intervención.
- Demostrar la existencia de cambios en los tiempos de reacción pre y pos-intervención.
- Determinar si existen diferencias significativas entre los tiempos obtenidos al aplicar la prueba pre y posterior a la intervención.

## **2 Marco referencial**

A continuación se presentan los antecedentes de investigaciones realizadas, teorías propuestas y la definición de los conceptos necesarios para facilitar la comprensión del tema propuesto.

### **2.1 Antecedentes**

#### **2.1.1 Asociación función memoria con secreción sistémica catepsina B ante ejercicio físico**

Moon et al. (2016), encontraron hallazgos significativos en un estudio donde utilizaron análisis proteómicos y bioquímicos de catepsina B secretora, para lograr que la mioquina

aumentará el plasma en el músculo, mediante un tratamiento neural en roedores, generando la hipótesis del importante papel en el beneficio a nivel cerebral del ejercicio físico en este caso, el *running* o carrera. Resalta que dichos procesos no han sido explorados en su totalidad en diferentes áreas o campos, por ende, la regulación de procesos periféricos es relevante para establecer el comportamiento neurogénico al correr. En humanos los cambios en los niveles de CTSB se correlacionaron con aptitud física y funciones de memoria dependientes del hipocampo, estos son mediadores de efectos del ejercicio sobre la cognición. La actividad física beneficia la salud humana, incluida la función cerebral.

En particular, el ejercicio puede mantener y mejorar la cognición, por otro lado, los roedores al correr inducen cambios en sus neurotransmisores a niveles de neurotrópica, morfología neuronal y vascularización. Además, en los humanos hay una relación entre la capacidad aeróbica, la plasticidad del hipocampo y la memoria, pero los efectos positivos de correr sobre los mecanismos periféricos siguen sin ser claramente definidos. Dentro de su metodología realizan procedimientos experimentales en animales, los roedores se alojaron individualmente en condiciones estándar con una muestra de 64 entre ellos 6 machos. En monos, se tomaron 13 hembras y 10 machos, a su vez individualmente separados y enjaulados por ciclos estándar de oscuridad durante 12 horas.

En humanos se tomaron muestras de 43 adultos jóvenes sanos, siendo estas 24 mujeres, aleatoriamente asignados para cualquier grupo de entrenamiento o control emparejado por género y edad. Los resultados de la neurogénesis adulta inducida por la carrera en la circunvolución dentada del hipocampo, se relaciona positivamente con la memoria asociada a un desempeño químico y celular para determinar si CTSB KO afecta la función de memoria mediante propiedades fisiológicas cambiantes de GC dentados maduros. En efecto, dicho estudio

en primates, mostró que el entrenamiento en cinta rodante elevó la CTSB niveles plasmáticos, apreciando beneficios en la memoria en humanos inducido por el ejercicio. También sugiere que los efectos directos e indirectos de CTSB sobre la función cerebral, generan un impacto en la mejora de la retención de espacio memoria, neurogénesis. Finalmente, cabe concluir que mediante dicho estudio los resultados no solo sugieren que los beneficios del ejercicio para la función cerebral dependen de las funciones centrales, sino que al igual intervienen factores periféricos como la miosina CTSB, siendo importante para la plasticidad cerebral.

### ***2.1.2 Atención guiada y contribuciones independientes del hipocampo y cuerpo estriado.***

Goldfarb et al. (2017), en un estudio sobre la influencia de la memoria, la atención y la dependencia de estos a los lóbulos temporales mediales, han evidenciado cómo otros sistemas de memoria, pueden correlacionar el aprendizaje de refuerzo y la memoria de contexto, facilitando así, la atención en una tarea de búsqueda visual.

En este estudio, utilizaron resonancia magnética funcional, disociando mecanismos funcionales, por los cuales estos recuerdos guían la atención y a través de ensayos controlados al hipocampo, se encontraron hallazgos relevantes a la aplicación de la tarea de búsqueda múltiple, sin incluir aún el cuerpo estriado.

Con el objetivo de esclarecer un análisis detallado, esta investigación expuso, que la atención prevista beneficia la memoria de contexto, mientras se facilita el proceso de estímulo-respuesta. Para ello, cabe aclarar que la atención puede ser profundamente influenciada por la memoria, incluso en cosas tan sencillas como, ver previamente imágenes o matrices de formas, al punto de tener claridad, hacia donde se dirige la atención visual, mejorando la sensibilidad perceptiva. Considerando que las personas pueden aprender y usar información, señales múltiples y guiar la atención al cambio del tipo de señal, modificando el sistema de memoria que

guía esa atención, con miras a desarrollar una forma de comparar directamente la memoria hipocampal y estriatal, mediante indicaciones contextuales, corroborando así, el impacto del hipocampo en la tarea de búsqueda visual, mientras de forma paralela se evalúa la memoria de atención. La influencia de la memoria del hipocampo se muestra a través de configuraciones repetidas de objetivo y distractores. La tarea de búsqueda detalla el contexto espacial, hacia donde se dirige la atención a la ubicación exacta del objetivo. Este efecto es implícito, puesto que los participantes tienen identificado la memoria para el contexto repetido.

Con un grupo poblacional o muestra de 35 participantes con 24 ensayos de práctica, se completaron 576 ensayos de búsqueda o tarea visual, respecto a una secuencia en blanco o gris, punto fijo, distractores rotados y objetivo a localizar. Los resultados, arrojaron asociaciones positivas (estímulo-respuesta) en cuanto a las señales de color para encontrar rápidamente el objetivo “T”, en el cuadrante. Concluyendo así, que, para un mejor entendimiento de los diferentes patrones cerebrales y sus regiones involucradas respecto a la memoria, resulta necesario identificar áreas de común activación. Si bien, las indicaciones contextuales se han replicado con frecuencia, el análisis proporcionó un índice de atención orientador de la memoria del hipocampo, a otras formas de asociación predictiva, potencialmente dependientes de sistemas de memoria que han sido menos estudiados.

Al abordar éstos, el estudio logró modificar la tarea de búsqueda, para incluir estímulos probabilísticos en asociaciones de respuesta (SR), teniendo conocimiento que estas, dependen del cuerpo estriado como señales mnemotécnicas para la atención. En síntesis, este estudio demostró que varias de estas señales facilitan la atención a distintos sistemas neuronales. En la tarea de búsqueda visual, los participantes mostraron beneficios de atención posteriores al aprendizaje, cambiando el sistema de memoria, que guió la atención, es decir que la atención es

guiada tanto por la memoria estriatal como contextual simplemente que la primera se asocia al cuerpo estriado y la otra al hipocampo entendidas estas como sistemas que compiten entre sí.

### ***2.1.3 Baja exposición a estrés de por vida y reducción de memoria de estímulo – respuesta***

Goldfarb et al. (2017), realizaron un estudio en el cual demostraron que los efectos de baja y alta exposición al estrés de por vida puede conducir a un peor desempeño en aprendizaje de hábitos. Debido a que no se han realizado estudios que examinen los efectos del bajo estrés a lo largo del ciclo vital en la memoria del hipocampo, este estudio pretende dar solución a esta situación. Los investigadores utilizaron evidencia de que hay alta y baja respuestas fisiológicas de excitación que pueden afectar la memoria dependiente del hipocampo. En este estudio, se investigó la influencia de los bajos niveles de vida ante la exposición al estrés en la memoria contextual y de estímulo-respuesta. Esto a través de las experiencias de estrés acumulativo de por vida, en una gran cohorte de estudiantes de pregrado en una universidad, cuya muestra previamente demostró tener una exposición al estrés relativamente baja. Al comparar participantes con muy baja exposición al estrés, ante aquellos con exposición moderada al mismo, se evaluaron individuos de la parte superior e inferior de esta distribución. Allí identificaron la exposición al estrés de por vida de los participantes utilizando un sistema integral de entrevistas en línea y el desempeño en aprendizaje, mediante el desarrollo de una tarea de búsqueda visual que mide simultáneamente tanto el aprendizaje contextual (hipocampo) y como el aprendizaje de estímulo-respuesta (SR; memoria estriatal). Para ello, 893 participantes fueron expuestos a diferentes métodos evaluativos, un porcentaje de estos completaron el estrés y la adversidad, identificados o agrupados como estudiantes de trabajo virtual. Por otro lado, se estableció una comparación con los participantes que estaban completando los cursos a tiempo completo en ese primer momento.

Para medir la memoria hipocampal y estriatal utilizaron la tarea de búsqueda visual desarrollada. Ésta se basa en la referencia contextual y en la repetición espacial de contextos que facilitan el rendimiento de búsqueda. La tarea de búsqueda múltiple incluye asociaciones probabilísticas de estímulo-respuesta, comúnmente diseñadas para medir la memoria estriatal.

Los resultados de este estudio evidenciaron que los efectos a la exposición a un bajo nivel de estrés pueden conducir a resultados negativos para la salud incluso en poblaciones de adultos jóvenes. Con base en lo mencionado anteriormente, los resultados evidenciaron un proceso de examinación y exposición al estrés de por vida, influenciando qué forma de memoria sería, para ello, se empleó el análisis de rendimiento durante la prueba de la sonda, ensayos donde los participantes podrían usar memoria CC o SR. Ahora si bien, en el primer ensayo, para limitar la influencia de nuevo aprendizaje, la exposición al estrés de por vida condujo a distintos sesgos de memoria. Concluyendo así, datos actuales proporcionados en algunas de las primeras pruebas, de que los bajos niveles de exposición al estrés de por vida pueden ser contraproducentes para la memoria de hábitos. Aunque en las personas con bajos niveles de estrés vitalicio, no difiere de los participantes moderadamente estresados en la visión general de rendimiento de búsqueda o aprendizaje y más aún en las asociaciones de la memoria contextual. Éstos efectos fueron apoyados por un modelo computacional del rendimiento de la tarea, lo que demuestra que el único parámetro que significativamente difirió entre los grupos fue el que rige la expresión de memoria SR. Los resultados sugieren que el contexto y la memoria SR son diferencialmente sensibles a niveles muy bajos de estrés de por vida. Aunque la expresión de la memoria SR difiere entre baja ante los participantes con estrés moderado, la memoria de contexto no, respaldando así la hipótesis de que un estrés vital muy bajo, conlleva bajos niveles de excitación aguda, generando así una alteración de la memoria del hipocampo, en el grupo de bajo estrés.

#### **2.1.4 Correlación *in vivo*, neurogénesis inducida ejercicio en circunvolución dentada adulta**

Pereira et al. (2007), con el fin de esclarecer el debate continuo, sobre la importancia funcional de la correlación *in vivo* de la neurogénesis en la circunvolución dentada adulta, establecen un paralelo entre neurogénesis y angiogénesis, con el fin de probar si las mediciones de resonancia magnética del volumen sanguíneo cerebral (CBV), influyen en la experimentación hecha dentro de un organismo o tejido vivo, siendo estas, pruebas de común denominador en ensayos clínicos propiamente de este tipo de investigaciones. La formación del hipocampo puede ser tomada como un circuito cerebral compuesto por subregiones interconectadas vitales para la función de la memoria, estas se rigen por el proceso de envejecimiento. Ahora si bien, el giro dentado, es una de las únicas subregiones del hipocampo que apoya la neurogénesis en el cerebro adulto, dicho proceso, solo puede ser sesgado en un área específica del tejido, es decir que su importancia funcional sigue siendo indeterminada. Con el objeto de análisis, se utilizaron un total de 46 roedores con siete semanas de edad, donde se compararon 23 animales que hacen ejercicio con 23 que no lo hacen, colocados en jaulas con ruedas para correr; a su vez, en humanos se tomaron 11 sujetos con edades medias entre 21 a 45 años, siendo dos hombres y nueve mujeres, quienes debían cumplir con los criterios de aptitud aeróbica promedio. No obstante, siendo lo anterior una limitación, se hizo necesario contrastar imágenes *in vivo* y test cognitivos respectivamente a las muestras seleccionadas, como proceso de la neurogénesis propiamente. Esto con el fin de encontrar hallazgos en conjunto, que sustenten las diferentes formaciones dentro del hipocampo inducidas por ejercicio, enfatizando la actividad del giro dentado en regiones características de este.

Además, al tomar los resultados, se identifica que en los roedores el proceso mencionado anteriormente, se encuentra directamente ligado a imágenes propias de un desarrollo neuronal

regenerativo a partir de células madre, siendo clave el análisis de su comportamiento al inducir ejercicio o no. A su vez, la selectividad subregional encontrada en el ejercicio dentro de la formación del hipocampo fue un hallazgo inesperado. Particularmente interesante a la luz de estudios, que sugieren que el giro dentado es una subregión del hipocampo diferencialmente vulnerable al proceso del envejecimiento, tal y como se muestra en humanos, primates y roedores. Tanto así que la disfunción en la circunvolución dentada podría llegar a contribuir al envejecimiento cognitivo. Finalmente, los resultados demuestran que, el ejercicio aumenta selectivamente el CBV de giro dentado en roedores. En el diseño del protocolo experimental, se guiaron por la observación hacia el brote inducido por angiogénesis. Concluyendo así que el desarrollo de nuevos vasos sanguíneos progresará en diferentes etapas formadas gradualmente en el tiempo.

### ***2.1.5 Efecto del estrés agudo sobre los sistemas de memoria múltiples***

Goldfarb et al. (2017), realizaron un estudio en el cual examinaron el rol del estrés agudo en la modulación de los múltiples sistemas de memoria, para responder a esta pregunta, los investigadores utilizaron un protocolo para inducir estrés y una tarea que mide el desempeño en el aprendizaje estímulo respuesta y memoria contextual. En este estudio participaron 60 mujeres seleccionadas aleatoriamente, divididas en dos grupos de treinta personas cada uno, se estableció un grupo al cual se le induce condiciones de estrés, al grupo control no se le indujo estrés. Ambos realizaron una tarea de búsqueda de claves contextuales, la cual mide tanto el aprendizaje contextual dependiente del hipocampo y el aprendizaje de asociaciones de estímulo respuesta dependiente del cuerpo estriado.

Para dicho proceso se estableció un requerimiento mínimo en la participación voluntaria, mayores de 18 años. El procedimiento empleado para el experimento consistió en que cada



participante debería realizar dos sesiones en el laboratorio con 24 horas de diferencia entre las sesiones, de esta forma se controló las fluctuaciones circadianas en niveles de cortisol. Ahora si bien en el experimento dos, el procedimiento fue el mismo, con la excepción del momento de la manipulación del estrés inducido, de esta forma entre el día 1 y 2 los participantes completaron la tarea de búsqueda visual y muestras de saliva proporcionadas antes y después del aprendizaje. La tarea de búsqueda múltiple se ha descrito en detalle, puesto que cada uno de los participantes deberá buscar un objetivo, en este caso una “T”, incrustada entre distractores rotados “L”.

Luego deberá presionar un botón basado en la dirección en que apunte dicho indicador (T), recibiendo así comentarios en dependencia a su velocidad y precisión. Otros análisis revelaron que el cortisol inducido por el estrés genera una respuesta a procesos de recuperación específicamente dirigidos y no aprendizaje o consolidación, pero sin diferencias significativas. Por último, la expresión de la memoria de contexto cambió dentro del segundo experimento con el paso de los días, a diferencia del común denominador de las pruebas, los resultados de este estudio evidencian que la respuesta al cortisol inducida por el estrés no difirió entre los grupos en el experimento uno y dos. Finalmente, demostrando así que el estrés y el aprendizaje posterior fluctúan a una alta respuesta adrenérgica afectando la memoria contextual al inicio, pero es muy posible una mejora a raíz de una exposición repetida.

En síntesis, los resultados indican que el estrés agudo modifica el compromiso de diferentes sistemas de memoria, lo que lleva a la expresión preferencial de estímulo respuesta (S-R), en lugar de memoria de contexto episódica, cuando se pueden usar ambos tipos de memoria. No obstante, permanece la inquietud con respecto al mecanismo cognitivo que subyace a los sesgos en los humanos, específicamente, como cada forma de memoria está individualmente influenciada por el estrés para que la memoria SR sea dominante. Concluyendo así que el estrés

post-aprendizaje, en conjunto con el aumento de actividad adrenérgica durante el aprendizaje, consolida la memoria de contexto y conduce a la expresión preferencial de SR. A su vez, el estrés previo a la recuperación también afecta el contexto memoria, aunque transitoriamente, cambiando la expresión de esta. Aunque, las diferencias individuales en la reactividad al cortisol inmediatamente después del aprendizaje se asociaron con la variabilidad en el aprendizaje inicial de RS, dichos resultados revelaron posibles nuevos mecanismos cognitivos, por los cuales el estrés puede modular múltiples sistemas de memoria.

### ***2.1.6 Efectos entrenamiento en cognición y microestructura de la materia gris y blanca***

Sexton et al. (2020), desarrollaron un estudio en donde se observó que la actividad física se asocia con un riesgo reducido de deterioro cognitivo y demencia. El grado en que las intervenciones de entrenamiento aeróbico impactaron en la salud cognitiva y la estructura del cerebro, fueron objeto de análisis y debate. Sin embargo, durante la prueba piloto de cuarenta y seis adultos mayores sanos, se contrastaron los efectos de un programa de entrenamiento aeróbico de doce semanas con un control de lista de espera sobre la aptitud cardiorrespiratoria, la cognición y los resultados de las imágenes por resonancia magnética (IRM). Allí se pudo evaluar la aptitud cardiorrespiratoria mediante pruebas de VO<sub>2</sub> máx, mientras que las evaluaciones cognitivas abarcaron la función ejecutiva, memoria y velocidad de procesamiento a través de técnicas de análisis y cuantificación en imagen, realizando una segmentación de tejido utilizando la herramienta FMRIB. El análisis de resonancia magnética estructural incluyó, el examen del volumen del hipocampo al igual que los volúmenes de materia gris utilizando morfometría basada en vóxeles.

Por otro lado, el análisis de imágenes por tensor de difusión se realizó mediante anisotropía fraccionada, difusividad axial y radial, utilizando estadísticas espaciales basadas en

tractos. Si bien, la intervención mejoró con éxito la aptitud cardiorrespiratoria, no hubo evidencia de que el programa de entrenamiento aeróbico condujera a cambios en el funcionamiento cognitivo o medidas de la estructura cerebral en adultos mayores. Las intervenciones que son más duraderas, multifactoriales o dirigidas a poblaciones específicas de alto riesgo, pueden producir resultados más alentadores.

A través de estudios en animales y humanos, se ha propuesto ampliamente que niveles más altos de actividad física (AF) y aptitud cardiorrespiratoria (CRF) puede promover un envejecimiento cognitivo exitoso, existen también revisiones de estudios observacionales que concluyen consistentemente que niveles más altos de actividad física están asociados con un riesgo reducido de deterioro cognitivo y demencia. Actualmente, ensayos aleatorios controlados examinan los efectos de los programas de entrenamiento aeróbico. Sin embargo, la situación en adultos mayores sanos es de mayor estudio, porque los metaanálisis han informado, que los programas de entrenamiento aeróbico se asocian con mejoras en múltiples dominios cognitivos, mientras que otros han concluido que no hay evidencia de que los programas de entrenamiento aeróbico tengan algún beneficio en adultos mayores cognitivamente sanos. Los partícipes voluntarios oscilaron entre los 60 y 85 años, el primer filtro fue una evaluación de referencia incluido estado físico y cognitivo. Se asignaron al azar dentro de un grupo control para sesiones de ciclismo estacionarias tres veces a la semana durante doce semanas. Para luego, monitorear la evolución que tuvo cada variable inicialmente testeada. Al enfatizar los aspectos cognitivos en el seguimiento del estudio, los participantes completaron una batería de pruebas cognitivas, que comprendieron tareas tanto computarizadas como con lápiz y papel, que posteriormente se dividieron en los dominios de funciones ejecutivas de velocidad de procesamiento y memoria.

Dentro del estudio, la capacidad aeróbica se evaluó durante una prueba de VO<sub>2</sub>max en cicloergómetros, con el fin de medir el volumen de oxígeno utilizado en el cuerpo por unidad de tiempo, en los picos de esfuerzo durante la actividad física. Los hallazgos nulos reflejaron una literatura denominada mixta, sobre si las intervenciones de entrenamiento aeróbico pueden mejorar la cognición y las medidas de estructura cerebral en adultos mayores sanos.

Con respecto a la cognición, la evidencia científica es contradictoria no solo entre estudios individuales, sino también entre metaanálisis. Los datos de resonancia magnética funcional del cerebro se analizaron en imágenes estructurales específicamente revisadas y editadas para que los vóxeles del líquido cefalorraquídeo, fueran excluidos de la circunvolución parahipocampal, expresando los volúmenes del hipocampo anterior como porcentaje del volumen total del cerebro. Por ejemplo, en aquellas primeras intervenciones los estudios nacionales informaron mejoras en los procesamientos, tareas espaciales, de velocidad, atención, procesamiento de función ejecutiva y memoria. Sin embargo, una subsecuente revisión sistemática, encontró efectos moderados de la actividad física aeróbica en intervenciones en múltiples dominios cognitivos, incluido el reconocimiento, recuerdo inmediato, recuerdo retrasado, fluidez verbal, razonamiento, trabajo memoria, atención y velocidad de procesamiento. Por ende, se concluyó que la evidencia acerca de que la actividad física aeróbica en los adultos mayores cognitivamente sanos en once dominios cognitivos abarca atención, memoria, percepción, funciones ejecutivas, inhibición cognitiva, velocidad cognitiva y función motora, aun no es contundente. Recientemente protocolos específicos de intensidad variable en los dominios de actividad física condujeron a mejoras mínimas en función ejecutiva, fluidez de palabras, función viso espacial, procesamiento velocidad y cognición global.

### ***2.1.7 Funcionamiento ejecutivo durante el ejercicio prolongado: Una perspectiva neurocognitiva basada en la fatiga.***

Schmit y Brisswalter (2020), en un estudio sobre el funcionamiento ejecutivo, analizaron ciertas implicaciones tanto emocionales como técnicas y de resistencia para rendimiento de los atletas objeto de estudio. Sin embargo no se ha llegado al consenso para explicar el deterioro de éste durante el ejercicio prolongado. Recientes investigaciones desafían la suposición original de un efecto dosis-respuesta lineal de la intensidad del ejercicio en el cerebro, su fisiología y funcionamiento ejecutivo. Donde se postuló la fatiga- perspectiva neurocognitiva basada en el funcionamiento ejecutivo durante ejercicio prolongado, lo que sugirió que de arriba hacia abajo (cognitivo y esfuerzos físicos) y los procesos de abajo hacia arriba (sensaciones corporales) actuaban en paralelo a los mecanismos de activación para determinar la cognición. Como resultado de esta perspectiva, el funcionamiento ejecutivo durante el ejercicio prolongado fue dinámico en lugar de constante. (es decir, se vio afectado positivamente y luego negativamente por el ejercicio) y se analizó en lo que respecta a la terminación del ejercicio en lugar de la intensidad del ejercicio.

El modelo neurocognitivo basado en la fatiga también proporcionó apoyo para estrategias a largo plazo en la intervención de las dimensiones cognitivas y físicas del programa de entrenamiento de los atletas. De hecho, más allá de las mejoras cruzadas entre el ejercicio crónico y la cognición, que ya se han evidenciado, hallazgos innovadores recientes sugieren efectos de entrenamiento cruzado entre las mejoras autorreguladoras y el rendimiento físico aeróbico. Durante este proceso, el uso de técnicas de neuroimagen facilitó la identificación de superposiciones neuronales subyacentes, permitiendo intervenciones prácticas que maximizaron el ejercicio y / o el rendimiento cognitivo.

### ***2.1.8 La influencia de la fatiga inducida por el ejercicio en la función cognitiva***

Moore et al. (2012), realizaron un estudio en el cual contrastaron el procesamiento de la información y la toma de decisiones, a través de su afección después de períodos prolongados de actividad física, los resultados obtenidos de estudios de laboratorio sobre la fatiga inducida por el ejercicio han sido inconsistentes. Los efectos de la fatiga pueden ser específicos de la tarea y estar relacionados con el momento de la prueba posterior al ejercicio.

El presente estudio examinó los efectos sobre el desempeño de los adultos de dos tareas cognitivas que diferían en el procesamiento de las demandas durante un período de 80 minutos de fatiga. Treinta hombres y mujeres adultos jóvenes fueron asignados aleatoriamente a un grupo de ejercicio y completaron una sesión de 60 minutos sesión de ciclo ergometría al 90% del umbral ventilatorio, con un grupo de control y descansó durante 60 min. Después de las intervenciones, cada participante completó una versión simple y compleja de una prueba de discriminación visual perceptiva, una prueba de memoria de 40 minutos, prueba de vigilancia y repetición de las pruebas de discriminación visual perceptiva.

Aquellos que hicieron ejercicio evidenciaron importantes disminuciones en el rendimiento en tareas complejas de discriminación perceptiva en comparación con los participantes que descansaron. La respuesta el tiempo de los deportistas durante una prueba de vigilancia que exige memoria fue significativamente más lento que el de los participantes que descansaron; Sin embargo, el rendimiento de la detección no difirió entre los grupos ni hubo una disminución en la detección de objetivos en vigilia. Los efectos de la fatiga inducida por el ejercicio pueden ser específicos de la tarea, con mayores efectos sobre las tareas de percepción, que involucran procesamiento relativamente automático, en comparación con las tareas basadas en la memoria.

### ***2.1.9 La influencia del ejercicio agudo y la aptitud aeróbica en la atención selectiva durante la búsqueda visual.***

Bullock y Giesbrecht (2014), realizaron un estudio en el cual demostraron el comportamiento exitoso dirigido a objetivos con base en un sistema de atención humana que es flexible y capaz de adaptarse a diferentes condiciones de estrés fisiológico. Sin embargo, los efectos de la actividad física en múltiples aspectos de la atención selectiva y si dichos efectos están mediados por la capacidad aeróbica, no están claros. El objetivo del presente estudio fue investigar los efectos de una serie prolongada de actividad física en el rendimiento de la búsqueda visual y la distracción perceptiva. Dos grupos de participantes completaron una tarea híbrida de competencia de respuesta / flanqueo de búsqueda visual en una sesión inicial de línea de base y luego a los 17 minutos. Intervalos durante un período de prueba de 2h 16min. Los participantes asignados al grupo de ejercicio realizaron ejercicio aeróbico de estado estable entre la realización de bloques de la tarea visual, mientras que los participantes asignados al grupo de control descansaban entre bloques. El resultado clave fue una correlación entre las diferencias individuales en la capacidad aeróbica y el rendimiento de la búsqueda visual, de modo que aquellos individuos que estaban más en forma realizaron la tarea de búsqueda más rápidamente. Críticamente, esta relación solo surgió en el grupo de ejercicio después de que la actividad física había comenzado. La relación no estaba presente en ninguno de los grupos en la línea de base y nunca surgió en el grupo de control durante el período de prueba, lo que sugiere que bajo estas demandas de tarea, la capacidad aeróbica puede ser un determinante importante del rendimiento de la búsqueda visual bajo estrés físico. Los resultados mejoran la comprensión actual sobre la relación entre el ejercicio y la cognición, y también informan los modelos actuales de atención selectiva.

### ***2.1.10 Plasticidad vascular del hipocampo después del ejercicio aeróbico en adultos mayores***

Maass et al. (2015), mediante análisis controlados, evaluaron la plasticidad vascular del hipocampo, después de la realización de ejercicio aeróbico en adultos mayores. Encontrando hallazgos significativos, dentro de protocolos específicos del ejercicio aeróbico en adultos, llegando incluso a inducir plasticidad vascular en el hipocampo, una región crítica para el recuerdo y el reconocimiento memoria. Para responder esa pregunta los investigadores utilizaron evaluaciones de aptitud para la determinación del componente aeróbico. Al comparar los parámetros, en una intervención mecanicista de prueba concepto durante tres meses, se investigaron 40 adultos mayores con edades promedio entre 60 y 77 años. Se hizo necesario evaluar a los participantes, en diferentes regiones cerebrales y correlacionando su respectiva plasticidad vascular, se midió el flujo sanguíneo cerebral regional (rCBF) y el volumen (rCBV), mediante una perfusión de gadolinio.

Para tal efecto, los volúmenes del hipocampo se analizaron mediante imagen de resonancia magnética de alta resolución MRI. Con el fin de establecer que aptitud mejoraría con relación a los cambios en la perfusión y el volumen de la cabeza del hipocampo. Debido a esto, la perfusión tiende a aumentar para los adultos jóvenes, pero a disminuir en los adultos mayores. Las afirmaciones anteriores sugieren que las alteraciones en el estado físico, la perfusión del hipocampo y el volumen, pueden llegar a relacionarse positivamente con los cambios en la memoria de reconocimiento y recuperación temprana para objetos espaciales complejos. Diferentes análisis de ruta indicaron, que los cambios relacionados con la aptitud física en reconocimiento de objetos complejos fueron de cierta forma modulados por la perfusión del hipocampo.



Dichos hallazgos, indican una preservada capacidad de envejecimiento humano para la plasticidad vascular de éste, funcionalmente asociada a la disminución de la edad. Los resultados arrojados, evidenciaron efectos del ejercicio sobre variables relacionadas con el estado físico, siendo efectivo para aumentar los niveles de aptitud aeróbica. Dicho de otro modo, la mejora en el estado físico debido al ejercicio también fue confirmada por un significativo efecto de intervención sobre los niveles que los participantes lograron en dicha medición. Finalmente, los aumentos en los niveles de condición física no solo fueron positivos sino asociados con cambios en la perfusión del hipocampo, después de un periodo de intervención trimestral.

### ***2.1.11 Relación entre el ejercicio físico, el tamaño del hipocampo y la memoria***

Erickson et al. (2011) en un estudio sobre el ejercicio físico, detallan el aumento de la perfusión del hipocampo, pero en la medida en que este sea aeróbico, en dicha investigación también se encuentra como se modifica el volumen de este, en la edad adulta tardía. A través de un ensayo aleatorio controlado con 120 adultos mayores. La evidencia científica de este autor refleja al ejercicio aeróbico específico, como un factor en el aumento del tamaño del hipocampo anterior, lo que lleva a la mejora de la memoria espacial. De igual manera demostró que el aumento del volumen del hipocampo se asocia con mayores niveles séricos de BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor), un mediador de neurogénesis en la circunvolución dentada. El volumen del hipocampo disminuyó en el grupo de control, pero una mayor aptitud de pre-intervención parcialmente atenuó la disminución, lo que sugiere que la pérdida de los volúmenes del núcleo caudado y el tálamo no fueron afectados por la intervención.

Los hallazgos teóricamente importantes, indican que el entrenamiento aeróbico es efectivo para revertir la pérdida de volumen en la edad adulta tardía, acompañada de la función de memoria mejorada. Para ello, 842 adultos mayores fueron seleccionados, entre los 55 y 80

años, bajo criterios fisiológicos específicos, sin antecedentes o enfermedades cardiovasculares asociadas, pero con un patrón similar de sedentarismo, conducta sedentaria notoria o demarcada. Se les evaluó a través de un protocolo específico de entrenamiento condicional aeróbico. Los participantes comenzaron caminando durante 10 minutos y aumentó la duración de la caminata semanalmente de 5 minutos hasta lograr una duración de 40 minutos la semana, con sus ejercicios de calentamiento y estiramiento respectivamente a cargo de profesionales en el área.

Para probar la función de memoria, todos los participantes completaron una tarea de memoria espacial computarizada al inicio del estudio, después de 6 meses y nuevamente finalizada la intervención. Los resultados arrojados, sugieren que el entrenamiento aeróbico aumenta selectivamente el volumen del hipocampo, a raíz que 120 adultos mayores, sin demencia, fueron asignados aleatoriamente, un grupo de ejercicio aeróbico con una muestra de 60 y uno de control de estiramiento con los participantes restantes. Mediante las resonancias magnéticas fueron recolectadas imágenes antes y después de la intervención en un periodo de tiempo de seis meses, nuevamente después de la finalización del programa. El estudio, evidencia que los grupos no difieren al inicio del volumen del hipocampo o las tasas de asistencia, encontrando que la intervención de ejercicio fue efectivo para aumentar el tamaño de este, es decir que el grupo de ejercicio aeróbico demostró un aumento en el volumen del hipocampo izquierdo de 2.12% y derecho de 1.97% respectivamente durante el período de 1 año, mientras que el grupo de control de estiramiento muestra, disminuyó en un 1.40% y 1.43% durante este mismo intervalo.

Concluyendo así en el marco general de dicha investigación resultados consistentes con el patrón correlacional mencionado anteriormente, porque el volumen del hipocampo se contrae de 1 a 2 % anualmente. Se destaca que sobre la base de las diversas regiones que examinaron en

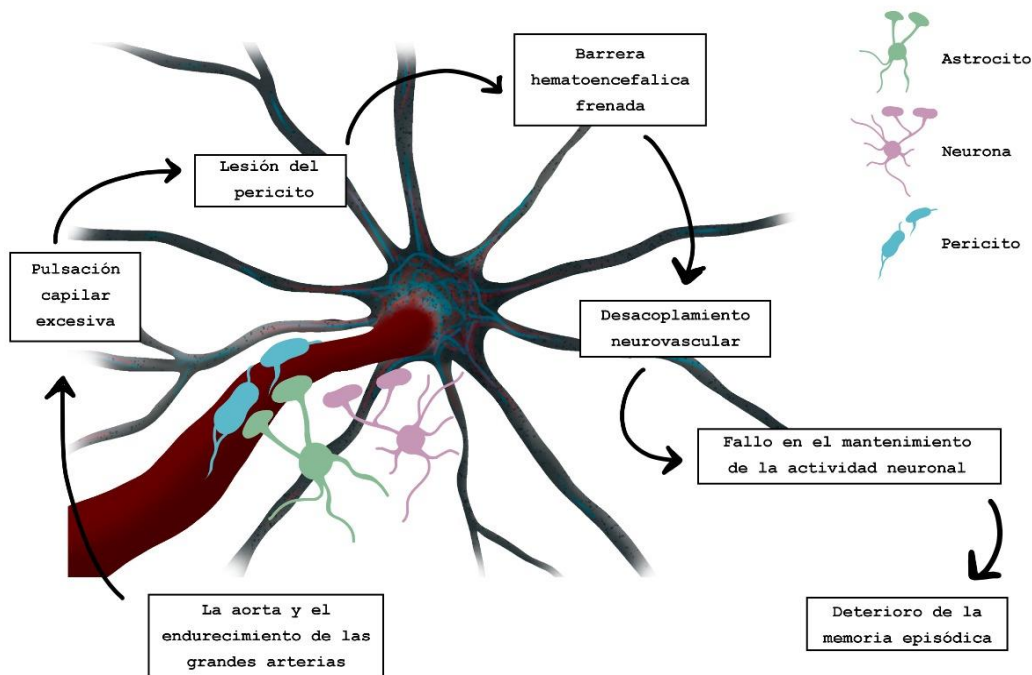
el estudio, el efecto del ejercicio fue bastante selectivo, influyendo solo en el hipopótamo anterior y no en el tálamo, ni el núcleo caudado. Esto indica, que el ejercicio no influye en todas las regiones del cerebro, de hecho, la investigación de estudios cognitivos humanos y roedores indica cierta especificidad, de modo que el ejercicio influye en algunas regiones del cerebro y comportamientos, pero tiene una influencia mínima en los demás.

## **2.2 Marco teórico y conceptual**

### **2.2.1 *Acoplamiento neurovascular***

El acoplamiento neurovascular es un mecanismo complejo que relaciona los cambios en la actividad neuronal con el subsecuente cambio en el flujo sanguíneo cerebral local, de manera de asegurar el aporte de nutrientes y oxígeno, proporcional al aumento de la actividad neuronal (Haydon y Carmignoto, 2006). De este modo, la función integrada que surge de la comunicación entre una red de múltiples tipos celulares como lo son neuronas, astrocitos y células vasculares, representan una unidad funcional denominada “unidad neurovascular” (Girouard y Iadecola, 2006). La actividad neuronal es codificada en los astrocitos en forma de ondas de calcio ( $Ca^{2+}$ ) intracelular, que se inician principalmente tras la activación de los receptores metabotrópicos de glutamato (mGluR), y que se propagan hasta los procesos astrocíticos que están en una estrecha relación con las arteriolas cerebrales (Shin et al., 2006).

Por otro lado, los astrocitos también participan de manera importante en el control del flujo sanguíneo cerebral a través del mecanismo conocido como “acoplamiento neurovascular”, el cual es esencial para el correcto funcionamiento del cerebro (Filosa et al., 2004). La Figura 1 describe el acoplamiento neurovascular.

**Figura 1***Acoplamiento neurovascular*

Los astrocitos están estratégicamente posicionados para regular tanto la transmisión sináptica como el acoplamiento neurovascular, ya que los procesos de un solo astrocito pueden contactar decenas de miles de sinapsis, mientras que otros procesos de la misma célula forman unas estructuras especializadas denominadas pies astrocíticos, que se proyectan hacia los microvasos y” envuelven” a los capilares y las arteriolas (Cauli et al., 2004).

El acoplamiento neurovascular es un mecanismo de señalización intercelular que permite la regulación del flujo sanguíneo en las distintas regiones del cerebro, de manera tal, que un aumento en la actividad neuronal se asocia con un incremento proporcional del flujo sanguíneo hacia esa región del cerebro (Leybaert, 2005). En este contexto, la integración de la función

cerebral a través de una red de comunicación compleja, compuesta por múltiples tipos celulares, especialmente células endoteliales, representa una unidad funcional, cuyos componentes poseen interacciones dinámicas que influyen en procesos tanto fisiológicos como fisiopatológicos.

La estrecha relación entre el aumento de la actividad neuronal y el aumento del flujo sanguíneo cerebral fue descrita hace más de un siglo demostrando que las estructuras neurales pueden generar cambios en el flujo sanguíneo cerebral. Sin embargo, en la actualidad, no se encuentra totalmente dilucidado el mecanismo asociado a este proceso, el cual se conoce como acoplamiento neurovascular. La descripción de la unidad neurovascular, como una estructura funcional a principios de la década del 2000, ha sido foco de estudio en cuanto a la interacción entre neuronas, astrocitos y células vasculares (Metea y Newman, 2006).

Así, las distintas líneas de estudio de la unidad neurovascular, han permitido definir con bastante sustento que los astrocitos tienen una activa participación en el acoplamiento neurovascular, cumpliendo un rol que no está limitado sólo a censar la actividad neuronal, sino que también participan dinámicamente en la transmisión de las señales neuronales hacia los vasos sanguíneos, lo que genera cambios en la actividad vasomotora, constituyendo de esta manera un puente de comunicación entre los componentes (Cauli et al., 2004). Los reportes más recientes relacionados con la unidad neurovascular han mostrado, a través de estudios *in vitro*, que cada uno de sus componentes es imprescindible para el correcto funcionamiento del mecanismo vasodilatador asociado al incremento de la actividad neuronal (Filosa *et al.*, 2004).

### ***2.2.2 Activación neuronal del hipocampo en respuesta a la actividad física aguda***

Diferentes asociaciones entre actividad neuronal y media velocidad de carrera, destacan la utilización repetida de métodos para corroborar la actividad neuronal. Estudios en roedores con distancias comparativas entre los 200 metros, evidencian análisis celulares en el

comportamiento de carrera y patrones asociados con altos niveles de activación hipocampal. Es pertinente enfatizar que todo este proceso permite investigar a densidad la especificidad en la formación del hipocampo, no solo soportado en la observación, sino en análisis episódicos de activación celular bajo condiciones controladas, escudriñando a fondo el aprendizaje celular, la transcripción relativa de estímulo neural, los cambios inducidos por función aprendizaje.

Para clarificar la conexión entre el método de estudio IEG neuronal agudo del hipocampo, ante los niveles de carrera voluntaria, en largos periodos crónicos de ésta. Independiente de la historia de carrera, la respuesta fisiológica que produce dicha actividad como estímulo agudo del hipocampo en animales, involucra niveles altos de actividad física. Aunque, da lugar a considerar resultados colectivos fisiológicos dentro de muestras límites no superiores, la cantidad de células activas dependen del aumento exponencial de la velocidad carrera. Es decir, una velocidad promedio puede ser necesaria para el umbral del movimiento físico, inducido por activaciones del hipocampo en una muestra dependiente de la velocidad del conjunto, así los datos pueden demostrar cual agudo se manifiestan los patrones en el mismo. Los enfoques de electrofisiología observan con más detalle, locomoción instantánea y activación neuronal en el hipocampo, cuya correlación positiva robusta es más notoria entre las tasas de disparo neural y la velocidad carrera.

Ya por último, tanto la biología molecular, como sus experimentos identifican esta vez a la actividad física como fenómeno agudo en grandes activaciones de neuronas en el hipocampo, cuya frecuencia, con relación a la potencia de acción en la velocidad de movimiento celular estará ligada la velocidad de carrera misma.

### 2.2.3 *Actividad física*

La actividad física (AF) es considerada como cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que implica gasto energético por encima de los niveles basales. Por otra parte, una interesante propuesta que explica su semejanza se da al enmarcar dicho termino como estado biológico, algo que puede ser mejorado mediante la realización de esta de forma regular (Ekelund et al., 2016). Al comparar estas definiciones dicho estado avanza a un punto dinámico de energía y vitalidad, permitiendo a las personas llevar a cabo las tareas habituales de la vida diaria, disfrutar del tiempo de ocio activo y afrontar las posibles emergencias imprevistas sin una fatiga excesiva (Loprinzi y Kane, 2015). Por ello se hace necesario entenderla también como la base del ejercicio físico (en inglés “Physical Fitness”) dando una estructuración evaluable que tienen las personas y que se desenvuelven como capacidad de realizar cualquier actividad motriz (Froyd et al., 2016). En consecuencia, el proceso anteriormente descrito da pie a realizar adecuadamente un trabajo muscular a cualquier individuo con el fin de abordar con éxito una determinada tarea, dentro de un entorno físico, social y psicológico. Complemento, la actividad física tiene como punto de partida, al establecer un concepto enfocado al potencial físico de una persona (Vancampfort et al., 2017). Llama la atención el desempeñar tareas diarias con vigor y vigilancia, sin fatiga indebida y energía suficiente para disfrutar de las actividades de tiempo libre y afrontar situaciones inesperadas.

Para lograr así un nivel, resultado, producto u objetivo que se alcanza en su práctica regular (Piercy et al., 2018). En conclusión, la actividad física se abordará como factor comportamental en el que se dispone de una serie de acciones, relacionados a mejorar las diferentes habilidades para realizar actividades simples a nivel muscular, motriz caracterizado

por el dinamismo, energía y vitalidad que garantiza a las personas, disfrutar del tiempo de ocio activo.

#### **2.2.4 Actividad física de tipo aeróbica**

La actividad física aeróbica entendida esta como la suficiencia del corazón y del sistema vascular para transportar oxígeno a los músculos, permitiendo la actividad de grandes masas musculares durante un período prolongado de tiempo (Xenophontos et al., 2019). Esta reacción representa la esencia de la vida en los seres humanos (Langeskov-Christensen, et al., 2015). El procesamiento metabólico de los nutrientes que el organismo ingiere enfatiza la insustituible presencia del oxígeno permitiendo generar la energía que el cuerpo necesita para atender a las distintas actividades vitales, al tiempo que se producen otras dos sustancias de fácil eliminación: el gas carbónico y el agua (Auer et al., 2015). A dichos elementos se suman aportes conceptuales como ver dicha capacidad, dentro del estándar máxima del organismo para metabolizar el oxígeno en la sangre. En este caso es necesario que el organismo esté en condiciones de producir energía por otras vías metabólicas, las cuales no precisan oxígeno, la capacidad energética por estas reacciones alternas no es muy grande y se agota fácilmente, unos 4-5 minutos bajo exigencias físicas extremas (Yokota et al., 2017).

Para lograr producir energía rápida sin recurrir al oxígeno, se transforma apenas en un mecanismo de reserva que sabiamente fue dispuesto para solucionar situaciones de apremio físico, sin embargo, es conveniente reiterar que su duración es muy limitada (Toledo et al., 2018). Por otro lado, la capacidad aeróbica ha sido considerada como la medida fisiológica más importante en el ser humano para pronosticar su rendimiento físico en actividades de larga duración y en cierta forma para conocer la funcionalidad de los distintos sistemas orgánicos involucrados en el transporte de oxígeno.



Aunque también se ha establecido que la actividad física de tipo aeróbica es una función del volumen máximo de oxígeno ( $V_{O2m\acute{a}x}$ ), el cual representa la capacidad máxima del organismo para metabolizar el oxígeno en la sangre de practicarse esta, con niveles elevados. Dado que cuanto mayor sea el  $V_{O2m\acute{a}x}$ , mayor será su resistencia cardiovascular (Cocks et al., 2016). En conclusión definir la actividad física de tipo aeróbica basándose en una reacción presente en la esencia misma de la vida, con sus cambios morfo fisiológicos y estructurales del organismo interno respecto a su funcionalidad y en relación con las implicaciones, pasa a ser entendida como aquella habilidad específica del cuerpo para procesar metabólicamente aquellos nutrientes que el organismo ingiere, con la necesaria presencia de oxígeno, permitiendo de esta manera generar la energía necesaria para lograr realizar un ejercicio a su máximo nivel, siendo la misma sostenida en función del tiempo capaz del corazón y del sistema vascular para transportar grandes demandas de oxígeno a los músculos exigidos, permitiendo realizar actividades que involucran grandes masas musculares. La actividad física implica la concurrencia funcional de la gran mayoría de los sistemas orgánicos y es un componente importante en la aptitud física general, y sin duda, debe ser la base de todos los programas de preparación que impliquen los distintos tipos de población a trabajar.

Por todo lo anterior, es a su vez la variable fisiológica más estudiada por la comunidad científica. El potencial aeróbico de un individuo se mide a partir del consumo máximo de oxígeno y se implementa a través de variados procedimientos. Se consideran directas las pruebas que evalúan la cantidad de oxígeno que el sujeto consume mientras se halla conectado a un sistema (Banks et al., 2016). Diversos estudios han demostrado que la capacidad aeróbica de un individuo se incrementa progresivamente después del nacimiento y alcanza valor máximo cerca

de los 20 años. Desde este punto se somete a la ejecución de esfuerzos progresivos hasta el agotamiento (Carvalho et al., 2018).

Este esfuerzo es regulado por el potencial aeróbico total aplicando relaciones ya bien establecidas de esta variable fisiológica con la frecuencia cardíaca durante el ejercicio o bien con la carga de trabajo que se realiza. Al determinar la capacidad aeróbica se deduce, que el individuo sea sometido a una prueba de esfuerzo para lo cual se utilizan diversos instrumentos y también diversas clases de ejercicios. Bien sea que se traten de pruebas directas o indirectas, en los cuales el sujeto examinado realiza el ejercicio mientras es revisado o monitoreado permanentemente en sus funciones cardiocirculatorios y/o respiratorios (Whiteman et al., 2016). A su vez el concepto de "estado estable" surgió precisamente a raíz de la situación en la cual el sistema transportador de oxígeno, ligado íntimamente a la función cardíaca, se encuentra en perfecta armonía con las exigencias metabólicas que genera en el organismo un ejercicio de intensidad definida (Xenophontos et al., 2019).

La actividad física de tipo cardiocirculatoria ofrece dos indicadores fidedignos del nivel de esfuerzo al cual se encuentra dentro de una etapa específica, ellos son la presión arterial y la frecuencia el sistema de medición directa, sin duda, una medición más precisa de tipo aeróbica del individuo, pero sobre todo permite una evaluación momentánea y sucesiva del estado metabólico durante el esfuerzo y también posibilita la constatación de los criterios que denotan cuando un individuo ha alcanzado el máximo consumo de oxígeno (Songsorn et al., 2016).

### ***2.2.5 Actividad física en el tiempo libre***

La actividad física en el tiempo libre (AFTL) es el ejercicio, el deporte o la recreación que no están relacionados con actividades que forman parte del trabajo habitual, tareas del hogar o transporte (Meseguer et al., 2009).

### **2.2.6 *Actividad física en el transporte***

Esta entendida como cualquier actividad física que involucre el desplazamiento de un lugar a otro ya sea por motivo de trabajo, estudio u otra asignación (Claros et al., 2015).

### **2.2.7 *Actividad física en estudiantes universitarios***

La actividad física en el ámbito universitario es una herramienta base puesto que ayuda a identificar factores que conllevan a serias problemáticas, esto como elemento nos ayuda a establecer el origen de situaciones específicas, comúnmente asociadas a un alto riesgo en el desarrollo de enfermedades crónicas y cardiovasculares, pero no se encuentra como determinante responsable o principal ya que existen factores diversos por lo cual habrá que generar una serie de asociaciones a tener en cuenta (Elliott et al., 2015).

Como resultado, las cifras exponen los niveles de capacidad aeróbica en universitarios en el mundo y estas son de tipo moderado, inclusive llegan a presentar varianzas e incrementos en las dinámicas o tendencias de las curvaturas de análisis.

En este caso es necesario que se indague ante la diversidad de componentes que abarca la actividad física de tipo aeróbico para así establecer la principal relación a la insuficiencia en los niveles de desarrollo de esta, ya que es uno de los más graves problemas de la salud, aunque no es el principal, pues se correlacionan otros factores, entre los estudiantes universitarios resultaría de provecho generar ideas para encaminarla o guiarla a cuantificar el grado de cumplimiento de las recomendaciones para llegar a mantener un buen nivel (Brocherie et al., 2017). La actividad física de tipo aeróbica en estudiantes universitarios ha sido objeto decisivo en investigaciones de peso científico (Langeskov-Christensen et al., 2015). Las ideas expuestas hacen hincapié a la medida fisiológica más importante en el ser humano para pronosticar su rendimiento físico en actividades de larga duración y en cierta forma para conocer la

funcionalidad de los distintos sistemas orgánicos involucrados en el transporte de oxígeno. La etapa relativa a la educación superior es un periodo esencial para promocionar los estilos de vida saludables, tales como el incremento de la actividad física y el mejoramiento de la AF. La actividad física es una de las cualidades más importantes relacionadas con la salud, ya que representa una medida directa del grado general de salud y de manera específica del estado del sistema cardiovascular, respiratorio y metabólico (Langeskov et al., 2015). El nivel de actividad física (AF) realizado es la condición o forma física, estudiada como la capacidad que tienen las personas para realizar un ejercicio o actividad diaria sin la presencia de fatiga, concepto que engloba todas las cualidades físicas de las personas (Moran et al., 2016).

En este sentido, la AF puede ser definida como la capacidad que tiene una persona para realizar actividades y/o ejercicio físico, la cual constituye una medida integrada de todas las funciones y estructuras que intervienen en la realización de estas actividades, estas funciones son la musculatura esquelética, cardio-respiratoria, hemato-circulatoria, psico-neurológica y endocrino-metabólica (Firth et al., 2015). Además de lo mencionado anteriormente, la AF se agrupa en dos grandes categorías: los aspectos relacionados con la salud (fuerza muscular, resistencia muscular y flexibilidad) y los relacionados con la habilidad tales como: agilidad, equilibrio, coordinación, potencia, tiempo de reacción y velocidad. De tal forma, podemos decir que la capacidad aeróbica es el componente de la condición física relacionado con la salud más estudiado y a su vez, representa una de las cualidades más importantes de la condición física relacionadas con la salud, ya que constituye una medida directa del grado general de salud y de manera específica del estado del sistema cardiovascular, respiratorio y metabólico (Liou et al., 2016). Así mismo, esta capacidad constituye el principal exponente del estado de forma física del alumnado, siendo el

consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max) la variable fisiológica que mejor la define en términos de capacidad cardiovascular (Poole y Jones, 2017).

### ***2.2.8 Actividad física en estudiantes universitarios***

La actividad física en el ámbito universitario llega a ser una base fundamental puesto que ayuda a identificar factores que conllevan a una serie de problemáticas manifestadas, no solo conductuales sino como elementos que ayudan a establecer el origen de una serie de patrones asociados a un alto riesgo en el desarrollo de enfermedades crónicas como la obesidad, la diabetes tipo II o diversas enfermedades cardiovasculares, al igual que el sedentarismo (Myers et al., 2015).

En este sentido es pertinente, no solo centrar la atención en sus consecuencias, ya que diversos estudios evidencian las cifras acerca de los niveles de CF en universitarios del mundo y presentan bajos percentiles asociados. Atendiendo a estas consideraciones, cualquier tipo de carencia que se presente ante la diversidad de componentes que abarca la CF, se debe principalmente a la insuficiencia en los niveles de desarrollo de esta (Van Waart et al., 2015). Particularmente, se ha establecido que los bajos niveles de actividad física están estrechamente relacionados a problemas de la salud en los estudiantes universitarios, siendo más evidente en aquellos que inician o se dimensionan poblacionalmente en los primeros semestres, factor que va en crecimiento constante en universidades de primer mundo. En este sentido, la actividad física en estudiantes universitarios ha arrojado, que la estructura corporal cobra vital importancia a nivel motor, muscular, metabólico y cardiorrespiratorio dentro del marco y concepción de los modelos o estándares a nivel mundial (Varela et al., 2011). Por otro lado, las desigualdades en los niveles de condición física son evidentes en múltiples países, pero en Colombia, presenta una mayor acentuación, al ser uno de los países más desiguales de Latinoamérica, la información es

limitada; por tal razón, es imperativo conocer las disparidades en actividad física en el país para orientar el diseño tanto de programas como políticas públicas encaminadas a promoverla (Vancampfort et al., 2017).

Las evidencias anteriores permitieron, la realización de un análisis secundario donde los niveles de actividad física nacional se contrastaron con los modelos internacionales. En conclusión, son preocupantes las bajas prevalencias de cumplimiento de las recomendaciones sobre la realización de actividad física acorde a parámetros base de nivel mínimo.

En futuras intervenciones para incrementar los niveles de actividad física deberán considerarse las desigualdades por género y condición socioeconómica, así como sus factores asociados a los demás componentes de la composición corporal y la fuerza muscular (Rey et al., 2016). Basado en lo anterior, años después en las ciudades capitales, bajo la orientación por profesionales en el área, se diseñó un modelo de promoción de la salud, desde la perspectiva de la AF, dirigido a la comunidad estudiantil como prueba piloto para ponerla en práctica a escala global en la población colombiana, en primera instancia se encontró conformado por la universidad nacional de Colombia, sede Bogotá (Hadiyan y Cosh, 2019). En ella se definió un modelo, cuyos principales componentes fueron las redes de participación y apoyo al fomento de la salud y la AF, el apoyo a la transformación político-normativa como la reorientación académica hacía de su formación integral y sus estrategias (Gray et al., 2015). El proyecto permitió afianzar y analizar ciertos diseños de modelos en salud, al tiempo que favoreció integrar desde una perspectiva práctica, las estrategias y enfoques de la promoción de la salud aplicada a la AF, dentro del contexto nacional (Jaakkola et al., 2016).

### ***2.2.9 Actividad física ocupacional***

Este tipo de actividad física contempla cualquier movimiento corporal que genere un gasto energético por encima del nivel basal, en actividades cotidianas tanto de estudio como trabajo (Rodríguez et al., 2020).

### ***2.2.10 Comportamiento hipocampal e interacciones cerebrales ante el ejercicio físico***

La forma en que el ejercicio produce los cambios neurológicos sigue dando lugar a múltiples interrogantes. Recientes líneas de investigación sugieren que los factores derivados de los músculos se cruzan en el cerebro y pueden ser agentes clave que impulsan la mejora de la plasticidad sináptica y la neurogénesis del hipocampo, claramente a partir del ejercicio aeróbico. Simultáneo a esto existen señales que pueden originarse dentro del cerebro mismo. Tal es el caso, que, en esta investigación, se crea una relación directa entre la actividad física como papel determinante en la activación neuronal robusta y la formación del hipocampo, este último estrechamente asociado con activaciones agudas repetidas, denominadas oscilaciones de movimiento. En este sentido las neuro adaptaciones a largo plazo, establecen una asociación positiva con el ejercicio. En las diferentes regiones cerebrales, los cambios neurológicos no solo documentan respuestas asociadas al impacto en la estructura hipocampal en distintos estadios en el tiempo; además, juegan un papel crítico en la integración sensorial, durante la consolidación de información en múltiples etapas de aprendizaje y su alta estimulación ante la demanda física. Las ideas expuestas en este estudio sustentan la importancia funcional de la neurogénesis en adultos, Aunque discutible, la evidencia acumulativa sugiere que puede llegar a percibirse hasta la muerte, conservando altos niveles moldeables por el ejercicio, en relación con las implicaciones y a raíz de pruebas en roedores, se llegó a establecer el ejercicio aeróbico, como factor determinante en el aumento de la densidad de vascularización. Estas y otras

modificaciones tanto moleculares como morfológicas, apuntan reiterativamente a la mejora en las memorias dependientes del hipocampo.

Atendiendo a estas consideraciones, el aprendizaje cognitivo va de la mano con la actividad física regular, dichas afirmaciones motivan a profundos análisis particularmente donde se identifiquen patrones o señales específicas que apoyan el aumento de la neurogénesis y otros cambios neurológicos en el hipocampo derivados del ejercicio.

### ***2.2.11 Consumo de oxígeno***

El consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) representa el volumen de oxígeno consumido en la unidad de tiempo, generalmente en el minuto. El  $VO_2$  en los tejidos depende del oxígeno ( $O_2$ ) que es incorporado y transportado en sangre gracias al aporte ventilatorio y a la capacidad cardiovascular (Lundby et al., 2017). Por otro lado, la función del aparato respiratorio es suministrar  $O_2$  a los tejidos y eliminar dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Ello depende de la ventilación pulmonar, o sea el flujo de aire entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares, de la difusión de los gases entre los alvéolos y la sangre y de su transporte a las células y desde ellas (Vikmoen et al., 2016).

Vinculado al concepto, convierten a la población universitaria en un colectivo interesante de ser estudiado, ya que asumen decisiones y responsabilidades, las que podrían modificar hábitos de vida como la alimentación, la actividad física, el tabaquismo entre otros. Con esto se puede modificar la incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles (Brocherie et al., 2017). El término aptitud, conceptualiza la capacidad para realizar una tarea exitosamente, dentro de estas tareas se consideran las físicas. Desde el punto de vista físico, se pueden observar tres dimensiones: motora, orgánica y sociocultural (Astorino et al., 2017).



Igualmente, en el ámbito orgánico se acepta por la comunidad de fisiólogos del ejercicio el indicador del consumo máximo de oxígeno, definido como la capacidad de un sistema de órganos de captar, transportar y entregar oxígenos a las células musculares. Por ello se hace necesario la valoración de la capacidad aeróbica de la población universitaria a tal punto de ser un indicador del estado de salud que permite detectar grupos de riesgo propensos a sufrir condiciones de morbilidad (Patterson, 2018). De tal modo que una persona saludable debería tener por ende una capacidad aeróbica adecuada también debería verse reflejado en los hábitos de vida adoptados por la sociedad actual, en la cual se encuentra inmersa la población de educación superior, repercuten a nivel muscular con una serie de alteraciones que modifican la estructura muscular tanto en funcionamiento y en eficacia metabólica, estas alteraciones podrían ser; la menor sensibilidad a la insulina, la capacidad oxidativa se encuentra disminuida, comprometiendo principalmente la oxidación de las grasas, la cantidad y calidad de mitocondrias se encuentran disminuidas, esto también afecta a la remoción de triglicéridos a nivel intramuscular (Beltz et al., 2016).

Lo anteriormente señalado se acompaña de una fatiga muscular rápida que provoca una disminución de la capacidad física (Abut et al., 2016). Por ende, se recomienda la medición del  $VO_{2\text{máx}}$  como un indicador de la capacidad aeróbica cuyo valor numérico en la unidad de medida relativa de este ( $\text{ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ ) se relaciona con un nivel físico de la eficiencia de la utilización de la energía aeróbica a nivel sistémico (Furrow et al., 2017).

Dado con la ejecución pertinente, dicho análisis brindará un punto de partida para los individuos con relación a parámetros establecidos, que indican la situación con la cual los estudiantes físicamente activos ingresan a la vida universitaria frente a un régimen de estudios

que exige una capacidad aeróbica adecuada a su edad y una buena condición física como un componente que determinará el rendimiento en las asignaturas prácticas (Pedersen et al., 2017).

### ***2.2.12 Consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max) en estudiantes universitarios.***

La evidencia científica soporta la necesidad de establecer parámetros objetivos acordes a la población universitario, para evaluar la capacidad aeróbica y validar la aplicabilidad de pruebas en escalón, bajo la relación determinada entre la medición del consumo máximo de oxígeno de forma máxima, y su estimación de forma indirecta y submaximal (Faigenbaum et al., 2017). Partiendo de reconocer la aptitud física como una condición favorable y protectora de la dinámica de salud tanto de individuos como de grupos poblacionales, debemos reconocer que esta se constituye de múltiples atributos o cualidades, que, a pesar de ser evaluados, analizados e interpretados aisladamente, forman parte de un complejo sistema de características anatómicas, fisiológicas, psicológicas, sociales, ambientales que determinan el desarrollo de una condición física funcional e integral. De esta manera, podemos revisar y considerar cada uno de sus componentes, como un elemento en función de un organismo expuesto desde las mínimas exigencias de la cotidianidad hasta los más altos niveles de esfuerzo, manifestados en ámbitos deportivos, principalmente. Es por ello, que lo primero para hacer es realizar la estimación del consumo máximo de oxígeno y describir la organización de dichos elementos, a fin de favorecer su comprensión más adelante (Boland et al., 2106).

Para comenzar, es fundamental revisar cuáles son aquellas cualidades físicas básicas que soportan la aptitud o condición física. Entre ellas, se puede mencionar la fuerza, la flexibilidad y la resistencia cardiorrespiratoria. Sobre esta última, en la literatura se pueden encontrar varias denominaciones a este componente de la aptitud física, sin querer referirse a diferentes atributos. Para comprender esta situación, y enmarcando los referentes conceptuales a utilizar en el

desarrollo de esta investigación, se iniciará con una revisión de los conceptos que giran en torno a la resistencia cardiorrespiratoria y que están asociados con otra denominación de esta cualidad de la condición física, la capacidad aeróbica. Dicha capacidad está inmersa como herramienta inherente capaz de potenciar acciones propias del individuo donde involucre el transporte continuo de oxígeno ( $VO_2\max$ ) entendido como la medida, traducida en capacidad, de aportar, transportar e intercambiar oxígeno, a través del sistema cardiocirculatorio, durante un período de máximo esfuerzo (Konopka et al., 2017). El  $VO_2\max$  ha sido considerado como el “gold standard” en la medición de la aptitud cardiorrespiratoria. También se puede definir como la mayor cantidad de oxígeno que un individuo puede utilizar durante un trabajo físico respirando continuamente dentro de un rango o parámetro de esfuerzo físico considerable. Esta interacción de los sistemas ha sido descrita, como la interacción de las funciones metabólicas, circulatorias y ventilatorias y de los mecanismos fisiológicos subyacentes involucrados en la producción de energía durante la realización de un trabajo o ejercicio físico.

### ***2.2.13 Consumo de oxígeno, género y edad.***

El  $VO_2\max$  se encuentra fuertemente ligado por la dotación genética de cada persona, sin embargo, existen dos factores que son importantes en su consideración como son el género y la edad. El  $VO_2\max$  aumenta gradualmente con el crecimiento y en estrecha relación con la ganancia de peso, llegando al valor máximo entre los 18 y 25 años. (Pernía y & Andrés, 2010). Luego de los 25 años declina alrededor del 10% por década, en personas no entrenadas y en menor grado en las personas físicamente activas (Faoro et al., 2018). Esto se explica principalmente por una reducción de la FC máxima relacionada con la disminución en la actividad del sistema nervioso simpático y alteraciones en el sistema de conducción cardíaca (Habibi et al., 2018).

Las diferencias entre ambos sexos se hacen mínimas si comparamos el VO<sub>2</sub>max con relación a la masa corporal magra, lo que nos confirma el concepto anterior. Otro aspecto importante es el estudio de la eficiencia mecánica con relación al VO<sub>2</sub>max. El costo de la marcha y la carrera es mayor en los niños, expresado en valores relativos. Cuanto más joven mayor es el costo del ejercicio, lo que refleja como concepto un aumento en la economía del movimiento a partir del desarrollo (Brickson et al., 2016).

#### ***2.2.14 Contribución movimiento físico y actividad del hipocampo mediante navegación***

Todos los datos relacionados en descripciones anteriores, demuestran una fuerte interacción, entre hipocampo y movimiento, aunque el puente entre los dos sea la activación neuronal, los resultados de la información brindada en términos de espacio-tiempo, aportan recursos sensoriales en el marco del cambio de lugar o posición de un cuerpo en el espacio, diferentes campos de la investigación generan cuestionamientos en el área a fin de sustentar datos experimentales que contribuyan a estímulos visuales durante el movimiento físico.

Estudios previos mostraron patrones cuyos resultados oscilan modos de navegación muy distinto, a pesar de que dicha información era idéntica para ambos casos, el determinante diferencial fue la locomoción física real, siendo insuficiente para actualizar patrones comportamentales a nivel hipocampal, lo que sugiere que el movimiento físico, es un factor crítico para determinar hallazgos propios en una red sistémica de neuronas en el hipocampo. Sobre las bases de las ideas expuestas, recientemente la selectividad espacial del hipocampo ha sido estudiada en realidad virtual con aparatos tecnológicos altamente sofisticados fijados a la cabeza de roedores. Moviéndose libremente en una rueda giratoria, se les analizó el flujo óptico mediante configuración virtual, en un paralelo a la velocidad de movimiento. Aunque no plasma una difícil realidad de análisis, es el mejor sistema próximo de acercamiento, en resumen, tal vez

no se generó el impacto esperado, pero dentro del campo del aprendizaje espacial, se enlaza la importancia del movimiento físico en los patrones de activación neural en el hipocampo. Otros aportes esenciales en este estudio caracterizan el ritmo theta generado durante la navegación espacial. En escalas más amplias, las implicaciones del análisis podrían explicar los efectos positivos del ejercicio físico, sobre plasticidad del hipocampo.

Por otro lado, la neurogénesis y la función cognitiva necesitan ser más exploradas. En cierta medida, se han identificado circuitos específicos en el cerebro que ayudan a mediar la estrecha comunicación entre lo físico del movimiento y el hipocampo. Se cree que el hipocampo juega un papel importante en la sincronización de la actividad neuronal, durante oscilaciones theta particulares. Finalmente, se han detectado, una población específica de células en la corteza medial aproximadamente de un 15%, que responde linealmente a la velocidad de movimiento y también exhibe una fuerte modulación.

Para concluir, la hipótesis central presentada a lo largo de los estudios citados centra su atención en los efectos pre cognitivos del ejercicio, en particular todo comportamiento relevante dentro del hipocampo, siendo éste impulsado no solo por la influencia de tejidos periféricos sino también principalmente por actividad neuronal. Al revisar la evidencia, que ilustra la relación entre velocidad de movimiento y activación eléctrica de la formación misma del hipocampo, muestra que las regiones del cerebro tienen una fuerte interacción, entre frecuencia y amplitud neuronal. Además, se encontró evidencia que sugiere que, en el momento sincrónico de la red neuronal, se contrastaron fuertes estimulaciones ante la demanda de actividad física. En cualquier otro contexto y de cinco a diez veces mayor que cualquier patrón típico de actividad neuronal, que se muestre durante el aprendizaje de una tarea. En dependencia a ello, se espera un factor clave denominado disparo sincrónico, cuya repetición en grandes cantidades de neuronas,

conlleva a la producción de más neuro adaptaciones, respuesta misma del hipocampo ante el ejercicio físico. Cada proceso descrito, ha sido un actuar cohesivo tal como, el aumento de la neurogénesis, angiogénesis, gliogénesis, sinaptogénesis, en paralelo al desarrollo exponencial de factores neurotróficos y de crecimiento, como el flujo sanguíneo cerebral.

Es difícil llegar a realizar una afirmación veraz tomando como punto de partida, el papel de la activación eléctrica durante esfuerzos físicos, altamente debatido bajo parámetros de velocidad y fuerza, como fenómenos estrictamente regulados. Las conclusiones derivadas a estrictos análisis conllevan la contribución del movimiento físico, al patrón terns de activación neuronal en el hipocampo y a las características de los ritmos theta, descritos bien en la navegación espacial, abarcando una gran literatura de aprendizaje a nivel científico. Por lo tanto, múltiples tipos de actividades dentro del hipocampo ayudan a la formación de este, durante el ejercicio es más probable que la fuente de BDNF sea el cerebro propiamente, explicando así porque los factores moleculares idénticos transmitidos por los músculos, podrían afectar la fisiología del hipocampo, sin implicar necesariamente que el origen de los efectos sea el musculo esquelético.

Con el fin de dar cierre a la temática, futuros estudios deberían considerar estrategias para abordar sistemáticamente la contribución relativa de ambos periféricos y orígenes centrales de los efectos del ejercicio físico en el hipocampo. Al aislar el músculo, el resultado proporcionaría la base para comprender, si la fisiología muscular aguda dentro del cerebro es necesaria o suficiente. Es decir, si la utilidad para recapitular los efectos pre cognitivos del ejercicio físico, se verían reflejados en implicaciones terapéuticas de alto impacto en futuras investigaciones científicas, dirigidas a encontrar intervenciones, para mantener la salud del cerebro a través de la vida y en especial con la presencia de ejercicio físico.

### ***2.2.15 El ejercicio como medicina para el envejecimiento cerebral***

El deterioro cognitivo es una característica común del envejecimiento, por otro lado, la actividad física es un factor comportamental modificable dentro del estilo de vida, dichos conceptos tienen una relación directa o impacto en la salud cognitiva de los adultos mayores. La evidencia actual de estudios epidemiológicos (es decir, de cohorte longitudinal) y de intervención, sobre el papel de la actividad física y el ejercicio físico en la promoción de la salud cognitiva en adultos mayores con y sin deterioro cognitivo, resalta algunos de los posibles mecanismos subyacentes y genera debates sobre algunos de los posibles factores adaptables, incluyendo tipo de ejercicio y población objetivo, mediante la revisión reciente de biomarcadores de comportamiento, neuroimagen y convergencia, se demuestra como la actividad física genera un impacto en la salud cognitiva. El término "actividad física" se refiere a cualquier movimiento corporal producido por el esqueleto y músculos que requieren gasto energético. Por otro lado, el ejercicio es un subconjunto de actividad física planificada, estructurada, repetitiva y tiene como objetivo final o intermedio la mejora o el mantenimiento de la aptitud física. En general, hay dos tipos de actividad física: (a) ejercicio aeróbico entrenamiento- (por ejemplo, correr), con el objetivo de mejorar el sistema cardiovascular salud; y (b) entrenamiento de resistencia (por ejemplo, levantar pesas), destinado a mejorar la masa muscular y la fuerza. Cada tipo de entrenamiento físico tiene su propia fisiología distintiva y beneficios. En la actualidad, los datos de investigación epidemiológica indican que la actividad física predice cambios futuros en rendimiento cognitivo e incidencia de demencia entre adultos mayores independientes de otros comportamientos y factores preexistentes.

Un metaanálisis de 16 estudios prospectivos sobre la incidencia de enfermedad neurodegenerativa encontró que más actividad física al inicio del estudio predijo un 28% menos

riesgo de desarrollar demencia (resultante de todas las causas) y un riesgo 45% menor de desarrollar EA. A su vez, un segundo metaanálisis de quince estudios prospectivos entre individuos sin demencia, encontraron que altos niveles de actividad física se asocian con un 38% menos de riesgo de deterioro cognitivo, mientras que niveles bajos a moderados de actividad se asocia con una reducción del riesgo del 35%. Históricamente, la actividad física en los estudios epidemiológicos ha sido evaluada mediante cuestionarios de auto informe que normalmente piden a los participantes recordar su nivel de actividad física durante los últimos 7 días. Su alta viabilidad de administración a un gran número de participantes en la investigación facilita su practicidad. Sin embargo, son propensos a los sesgos asociados con la deseabilidad o debido a un deterioro cognitivo y por lo tanto pueden proporcionar estimaciones inexactas de la actividad física. En el contexto de los ensayos controlados aleatorios, muchas de las investigaciones se han centrado en el entrenamiento con ejercicios aeróbicos. Trabajos fundamentales en muestras de 124 personas cognitivamente sanas, se adaptaron adultos mayores aleatorizados a 6 meses de intervención de ejercicio aeróbico (es decir, caminar a paso ligero) o a una condición de control de estiramiento y tonificación. Justo *et al.* (2019) demostraron que el ejercicio aeróbico en comparación con el grupo de control, mejora significativamente la función ejecutiva. Tomada ésta como un término general para los procesos cognitivos que subyacen de comportamientos dirigidos a un objetivo y permitir que se inhiba ciertas funciones simultáneas; la función ejecutiva ha demostrado que es particularmente vulnerable a las enfermedades relacionadas con el declive de la edad.

Por lo tanto, los resultados de este ensayo controlado sugieren, que incluso los procesos cognitivos que son altamente susceptibles a los cambios relacionados con la edad pueden ser modificables a las intervenciones de ejercicio aeróbico. En un estudio de seguimiento, Rosero *et*



al. (2020) encontraron que seis meses de ejercicio aeróbico aumenta el volumen cerebral, incluyendo materia gris y blanca, en temporal y pre-regiones frontales del cerebro. En un análisis secundario de 12 meses aleatorizados, un ensayo control de hombres a través de un entrenamiento de resistencia progresivo, evidenció de manera preliminar, que en comparación con el entrenamiento de equilibrio y tono (es decir, control); la señal de entrenamiento de resistencia de intensidad moderada dos veces por semana redujo significativamente la progresión de las lesiones de la sustancia blanca en el cerebro. En conclusión, la evidencia actual sugiere que la actividad física, incluyendo entrenamiento aeróbico y de resistencia, puede mejorar aspectos de la cognición y contrarrestar los relacionados con la edad cambios en las regiones del cerebro implicadas en la función ejecutiva acciones, aprendizaje y memoria en adultos mayores con cambios en múltiples factores neurotróficos basados en sangre.

#### ***2.2.16 Introducción a la cultura física, deporte y recreación, un contexto nacional***

Las asignaturas en los primeros semestres del programa académico de pregrado cultura física, deporte y recreación, se encuentran orientadas por la misión del Departamento de Educación Física y Deportes de las diferentes universidades con acreditación de alta calidad a nivel nacional, destacando la formación humanista de la Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga, como un ente académico adscrito a la Facultad de Ciencias de la Salud y tiene como propósito el desarrollo de prácticas educativas e investigativas al ejecutar procedimientos científicos para el acompañamiento y análisis de la actividad física, contribuyendo a la mejor calidad de vida de la comunidad.

Como sustento del trabajo propio, el departamento de educación física y deportes fomenta la práctica de la actividad física, deportiva y recreativa, extendiendo los servicios a la comunidad universitaria y a la sociedad. En su ámbito general, el departamento de educación

física y deportes se habrá fortalecido en sus procesos de formación a través de la investigación y la construcción de conocimiento en las ciencias de la actividad física y el deporte, creando una cultura física, deportiva y recreativa que procure mejorar el desarrollo psicomotor al igual que a la contribución del bienestar, crecimiento personal y profesional tanto de la comunidad académica como de la sociedad. A su vez el Departamento de Educación Física y Deportes será una organización de vanguardia, con gestión eficaz y proactiva, líder en la actividad física y deporte universitario, reconocida nacional e internacionalmente por sus servicios, planes y programas, además por sus investigaciones en las ciencias de la actividad física y deportiva que fomenten una nueva cultura de vida de cuidado del sí por parte de cada persona.

### ***2.2.17 Mecanismos indirectos, mejora cognitiva asociada entrenamiento de resistencia***

Macaulay et al (2020), realizaron un estudio para demostrar la prevalencia de la demencia y otros trastornos cognitivos asociados a la edad como variables relevantes a considerar en artículos de investigación, pues al no tener cura después del diagnóstico, el tratamiento exitoso probablemente requiera máxima adherencia a las contramedidas preventivas. A través del ejercicio físico, múltiples factores de riesgo potenciales son modificables, la creciente evidencia sugiere que, a largo plazo, el entrenamiento de resistencia puede ayudar a mantener las capacidades cognitivas con el envejecimiento y tener beneficios adicionales para la salud general del cerebro. Tales intervenciones clínicas, diseñadas para retrasar la progresión de la enfermedad, deben ajustarse a parámetros específicos por profesionales en el área de la salud. Sin embargo, se debe establecer una base neurocientífica para justificar los beneficios a la salud cerebral.

Los mecanismos del deterioro cognitivo están comúnmente asociados a los procesos fundamentales del envejecimiento. Incluso los adultos mayores sanos experimentan

disminuciones en capacidad física, función vascular, estructura y función cerebral, regulación de la glucosa, inflamación, estado de ánimo y calidad del sueño. Sin embargo, los ensayos clínicos que involucran entrenamiento de resistencia en adultos mayores han demostrado consistentemente mejoras en cada uno de los sistemas con predominancia en el rendimiento cognitivo. Los beneficios y adaptaciones pueden directa o indirectamente mediar los beneficios para la función cerebral, y comprender que esta relación puede ayudar al desarrollo de estrategias óptimas de intervención para la población que envejece.

Ahora si bien, existen dos tipos principales de ejercicio crónico, entrenamiento aeróbico y de resistencia (RT), que tienen distintos beneficios fisiológicos, ambos tipos de entrenamiento mejoran la fluidez de la función cognitiva en adultos mayores. Estudios anteriores de los posibles mecanismos, tienen como punto de partida la actividad física en ejercicio general o aeróbico exclusivamente. Por otro lado, existe un interés creciente en los distintos mecanismos del entrenamiento de resistencia. En este estudio, se discutieron los cambios en la cognición después de las intervenciones o entrenamientos en adultos mayores, contrastado con análisis de fisiología supramolecular y beneficios psicológicos que pudieron estar relacionados con procesos cognitivos de mejora. La disminución del rendimiento cognitivo es típico en el envejecimiento normal en pruebas que involucran procesamiento velocidad, atención, memoria y función ejecutiva. Pero existe una fuerte evidencia que sugiere que niveles altos de actividad física, reducen la tasa de deterioro cognitivo y riesgo de demencia. En comparación con la actividad física promedio, formas específicas de ejercicio como entrenamientos de resistencia pueden tener mayores implicaciones para la salud cognitiva en adultos mayores.

Ensayos clínicos, han investigado los efectos del entrenamiento de resistencia en cognición fluida en adultos mayores, recientemente en una revisión sistemática, se ha publicado

un metaanálisis para resumir las características del estudio y proporcionar resultados de mayor influencia en esta línea de investigación. Aunque todavía se necesitan más ensayos controlados aleatorios de alta calidad para estimar con precisión la eficacia del entrenamiento de resistencia en la cognición, hallazgos anteriores proporcionan evidencia de apoyo para los efectos positivos en adultos mayores. Estos cambios cognitivos podrían ser una respuesta directa a la práctica de una habilidad motora orientada a objetivos que implican producción de fuerza, coordinación muscular, memoria kinestésica y procesamiento sensorial de una carga mecánica.

Por lo tanto, el propio entrenamiento de resistencia podría tener efectos impulsados por el crecimiento molecular dentro del cerebro. Lo anteriormente mencionado, resulta sumamente complejo de medir en humanos. Debido a que los estudios epidemiológicos relacionan declives con otros procesos fundamentales de envejecimiento y entrenamiento de resistencia ante el beneficio de la salud en general, cuyos mecanismos indirectos se han propuesto para explicar cómo mejora el entrenamiento de resistencia en la cognición. La evidencia científica asocia factores fisiológicos específicos que permiten abordar el entrenamiento de resistencia en dimensiones como la capacidad física, bien conocida por sus efectos sobre la masa muscular y el aumento de fuerza esperado para adultos mayores que participan en un programa de entrenamiento de resistencia. Los estudios epidemiológicos relacionan la fuerza con tasa de deterioro cognitivo e incidencia en la demencia. Sin embargo, los ensayos aleatorios controlados son necesarios para investigar la causalidad de esta relación.

Por consiguiente, al abordar cada uno de los factores fisiológicos inmersos en la relación del entrenamiento de resistencia y la mejora progresiva de la función cognitiva, se encuentra que en el sistema cerebrovascular (CV) el suministro de sangre adecuado al cerebro en condiciones dinámicas y de reposo presenta niveles base. Se sospecha desde hace mucho tiempo que las

alteraciones de este sistema desempeñan un papel en el desarrollo de la demencia. En principio, la disfunción vascular puede involucrar cualquiera de las múltiples etiologías de accidente cerebrovascular como hipoperfusión, enfermedad de vasos pequeños o cardio embolia. Recientes artículos de investigación sugieren que fallas en la función vascular pueden contribuir e incluso preceder disfunción neuronal y deterioro cognitivo.

Para ejemplo, en un estudio poblacional de adultos mayores en Holanda, la hipoperfusión cerebral al inicio del estudio fue asociado con un deterioro cognitivo acelerado y un mayor riesgo de demencia en la mediana de seguimiento de 6,9 años. La función vascular, se reconoce ahora como una de las principales prioridades de investigación en todos planes nacionales para abordar la demencia sin dejar atrás la estructura y función cerebral propiamente. Los resultados de las imágenes morfométrica apoyan el cerebro inducido por entrenamiento de resistencia en comparación con la plasticidad, cuyas mejoras en función cognitiva están asociadas en gran proporción. Por ejemplo, después de seis meses de entrenamiento de resistencia en pacientes con probable demencia con cuerpos de lewy, la materia gris expandida en la zona posterior cingulada puede ayudar a mejorar la cognición, revertiendo los procesos más destacados de la enfermedad de Alzheimer como la atrofia de la materia gris. Existen posibles asociaciones del entrenamiento aeróbico en consistencia con la plasticidad estructural en el hipocampo, sugiriendo que diferentes modalidades de entrenamiento producen distintos patrones de plasticidad estructural en los adultos mayores.

Las hiperintensidades de la materia blanca son marcadores estructurales de enfermedad cerebral de vasos pequeños, que son comunes en adultos mayores y fuertemente implicados en la patogenia de deterioro cognitivo vascular y demencia. En estudios tanto de adultos mayores sanos como de pacientes con DCL, el entrenamiento de resistencia ha demostrado que revierte la

progresión normal de hiperintensidades de la materia blanca. Sin embargo, no está claro si esta reducción de la hiperintensidad de la materia blanca ayuda a la mejora cognitiva o la progresión de esta. Con respecto a la regulación de glucosa, factor fisiológico determinante, la diabetes se considera un factor de riesgo importante para el desarrollo de demencia.

El vínculo entre estas dos enfermedades cada vez más prevalentes, se atribuyen principalmente a neuro inflamación inducida por hiperglucemia vía oxidativa estrés y producción mitocondrial de radicales libres. La hiperglucemia a menudo se manifiesta en patología cerebrovascular, lo que hace la discusión anterior sobre la función vascular relevante para esta sección también. Un daño mayor por hiperglucemia puede también conducir a la resistencia a la insulina en el cerebro, un evento temprano en el desarrollo de la demencia. Así, la profunda evidencia recopilada hasta la fecha sugiere que el entrenamiento de resistencia es una estrategia eficaz para la prevención y el tratamiento de la diabetes, también puede respaldar su eficacia en la prevención y el tratamiento del deterioro cognitivo. Será preciso mostrar que, los factores psicológicos asociados al estado anímico presentan una tendencia al rápido deterioro cognitivo como sello distintivo de demencia. Manifestándose en síntomas conductuales y psicológicos como ansiedad, depresión y apatía siendo un común denominador de la enfermedad. Estas alteraciones neuropsiquiátricas, pueden ocurrir en todas las etapas de la demencia con fluctuaciones prominentes y detectables. Debido a que la demencia no es una enfermedad específica, sino un término que describe una amplia gama de síntomas cognitivos en declive, no hay una distinción clara entre sus causas y efectos.

Existe una fuerte evidencia de que los trastornos psicológicos actúan más como factores de riesgo modificables en comparación a los síntomas de la demencia propiamente. Por ejemplo, la depresión es no solo un síntoma, sino también estar entre los cinco primeros factores de riesgo

importantes para la demencia, que se pueden reducir con intervención clínica. Por lo tanto, las contramedidas para estos trastornos son necesarios tanto para la prevención como para el tratamiento de la demencia.

Si agregamos un último factor como la falta repetida de sueño o privación parcial de esta, se puede llegar a establecer un déficit en dominios cognitivos específicos, incluyendo función ejecutiva, atención y trabajo incluso sin la sensación de somnolencia. En conclusión, hay diferentes posibilidades para la relación entre la cognición y los factores propuestos anteriormente. El entrenamiento de resistencia podría causar adaptaciones que posteriormente promuevan la salud a nivel cerebral. Por ejemplo, una función cerebrovascular mejorada podría promover acoplamiento neurovascular y proporcionar recursos para integridad neuronal, mediando así los efectos del entrenamiento de la resistencia en cognición. Como alternativa, el entrenamiento de resistencia podría directamente estimular adaptaciones mutuamente benéficas de formas independientes. Por ejemplo, podría mejorar tanto estado de ánimo y cognición. Entonces, una menor ansiedad permite mayor rendimiento cognitivo, paralelo a un pensamiento más claro, provoca una actitud positiva. En esta línea, el entrenamiento de resistencia podría mejorar directamente tanto la cognición como la mediación de las variables. Otro ejemplo del entrenamiento de resistencia es la posible mejora tanto del sueño como la cognición, en términos de rendimiento y calidad de vida. Finalmente, el entrenamiento de resistencia podría tener múltiples efectos independientes, causando cambios simultáneos sin interacción resultante. Así, algunos aspectos fisiológicos o psicológicos pueden no necesariamente influir de manera directa en la mejora cognitiva.

Es por ello por lo que resulta imperativo futuros estudios para reproducir los efectos del entrenamiento de resistencia en la cognición e investigar posibles mecanismos propuestos. Si

bien, la importancia del entrenamiento de resistencia para la salud general de los adultos mayores está bien establecida, hay una creciente evidencia científica para las mejoras cognitivas que fomenta el impacto en pacientes con alguna predisposición fisiológica.

Es fundamental una base neurocientífica que logre sustentar el entrenamiento de resistencia como beneficio directo a la cognición para promover su uso terapéutico tanto en estrategias de tratamiento y prevención. Al hacerlo, se pueden dar recomendaciones que brinden el mayor beneficio para el individuo. En un momento en que los factores sociales y la esperanza de vida más larga están aumentando la incidencia de trastornos progresivos no transmisibles como la demencia. El entrenamiento de resistencia puede darse como prescripción médica, de aprobarse un protocolo específico. Las mejoras en la capacidad física, función vascular, estructura y función del cerebro, glucosa oferta de regulación, inflamación, estado de ánimo y calidad del sueño representan importantes beneficios para la salud, además de los que pueden contribuir específicamente a los procesos cognitivos. Por lo tanto, incluso con un beneficio moderado para una enfermedad específica como la demencia, el impacto global de una mayor prescripción del entrenamiento de resistencia en la salud sería sustancial.

### ***2.2.18 Memorias dependientes del hipocampo***

“Una de las características más sorprendentes de los seres biológicos es su capacidad de modificar su conducta por medio del aprendizaje y la memoria” (Ekstrom y Ranganath, 2018). Esta característica se revela con mayor fuerza cuando disertamos nuevas ideas como resultado de la experiencia y las almacenamos en la memoria. Precisamente esta transformación experiencia – idea, ha sido una de las incógnitas que más intriga genera en la comunidad científica. En la actualidad se han desarrollado diversas técnicas que permiten medir a nivel molecular este aspecto, así mismo, este fue el inicio para explicar aspectos de cómo se aprende o como se



memoriza lo aprendido o que procesos suceden en el cerebro respecto al aprendizaje y la memoria.

Inicialmente se intentó dar respuesta a estas interrogantes desde la psicología y el psicoanálisis, sin embargo, desde estas solo se respondía el cómo, más no era determinante para responder que ocurría dentro del cerebro. Bajo esta premisa, se inició un cambio de enfoque de lo teórico-mental hacia las características del lenguaje biológico, es así como se le dio más énfasis a la biología de la señalización neuronal (Eichenbaum, 2017). Como resultado se logró una explicación del aspecto biológico-molecular de la memoria. La memoria y el aprendizaje son procesos ligados pero distintos. Autores como Vancampfort et al. (2017), definen el aprendizaje como “el proceso por el cual adquirimos nuevos conocimientos acerca de los eventos del nuestro entorno y el mundo”. En contrario, la memoria son “los procesos mediante los cuales retenemos, almacenamos y evocamos dichos conocimientos” (Zeidman y Maguire, 2016).

La memoria, desde una mirada fisiológica, podemos clasificarla en dos tipos: explícita e implícita. La memoria explícita “está relacionada con el estado de la conciencia y la atención, y es dependiente del hipocampo y región media del lóbulo temporal para su retención” (Girardeau et al., 2017). A su vez, esta memoria se divide en dos: la memoria de eventos y la memoria de palabras. Por su parte, la memoria implícita, “no depende del hipocampo, sino que de los sistemas sensoriales y motores específicos requeridos para actividades en particular” (Lisman et al., 2017).

Hay que tener en cuenta que la memoria explícita requerida para alguna actividad puede volverse implícita después de que la tarea está minuciosamente aprendida. La memoria implícita incluye memoria no asociativa, memoria asociativa, y los hábitos y habilidades (Girardeau et al., 2017). La memoria no asociativa (aprendizaje no asociativo) se refiere al aprendizaje causado

por la aplicación de un estímulo único (Lisman et al., 2017). Podemos encontrar dos variantes de memoria asociativa. Cuando un estímulo repetitivo evoca una reacción pero que entre más estímulos se aplican causa cada vez menos respuesta eléctrica, resultando en la habituación del estímulo. En cambio, cuando existe una respuesta inversa y el estímulo repetitivo es acompañado por un estímulo placentero o displacentero, resulta en la intensificación de la respuesta o sensibilización. La memoria asociativa incluye el reflejo condicionado y el reflejo operante. El reflejo condicionado implica la respuesta refleja de una condición a un estímulo que producía poco o ninguna reacción (Ragland et al., 2017). El reflejo operante, en cambio, es la respuesta al castigo o a la recompensa, y se manifiesta como algo que hace el individuo para obtener la recompensa o para evitar el castigo. Las habilidades y hábitos son conocimientos que una vez adquiridos, se vuelven inconscientes y automáticos (Anacker y Hen, 2017). Finalmente, el “priming” se refiere a la facilitación en el reconocimiento de palabras u objetos por exposición previa a estos (Gonçalves et al., 2016). Independientemente del tipo de memoria o de su contenido se ha sugerido que por su duración existe la memoria a corto plazo, que puede durar de segundos a horas, y en memoria a largo plazo que dura años y en algunos casos puede durar toda la vida.

Una forma de memoria a corto plazo es la memoria de trabajo, que permite el acceso a información en periodos muy cortos de tiempo mientras se realiza un plan de acción basado en esa información (Lazarov y Hollands, 2016). La memoria conlleva procesos como la consolidación, que no es más que el término utilizado para describir el proceso por el cual se da la transición de la información recientemente adquirida (aprendizaje) hacia una memoria estable de largo plazo, siendo esto un proceso donde la información es frágil y susceptible a borrarse (Besnard y Sahay, 2016). Cuando la memoria ya consolidada se reactiva (evocación de un

recuerdo), teóricamente la memoria se torna nuevamente frágil y comienza nuevamente la consolidación. Este último fenómeno explica en parte porque el alto nivel de entrenamiento se vuelve un factor protector de la memoria en contra de un buen número de agentes amnésicos (Gao et al., 2018). La memoria es consecuencia directa de la consolidación del aprendizaje, y ésta se logra al inducir cambios en la comunicación sináptica, modificaciones anatómicas entre las conexiones neuronales y modificaciones de las propiedades funcionales de las sinapsis (Lieberwirth et al., 2016). También tiene estrecha relación con el crecimiento neuronal, los cambios estructurales y las modificaciones metabólicas inducidas en las neuronas sinápticas involucradas (Epp et al., 2016). Los cambios en la eficiencia de la comunicación sináptica dependen en cierto grado de la potenciación a largo plazo. Ésta no es más que un incremento sostenido en la fuerza de la comunicación sináptica debido a la activación repetida de una vía. La potenciación a largo plazo se ha aceptado como modelo de la plasticidad sináptica que subyace a la información. Esta plasticidad se ha detectado especialmente en hipocampo y neocorteza.

Se ha detectado que, en estas áreas corticales, durante la consolidación de la información por medio de una potenciación a largo plazo, sufren biológicamente un reclutamiento de las redes neo-corticales provenientes del hipocampo (Kutlu y Gould, 2015). Estas son dependientes de múltiples procesos, especialmente del sueño, para su consolidación y comprometen las áreas mediales del lóbulo temporal (Lieberwirth et al., 2016). Las emociones juegan un papel codificador de la información que realza e influye en este proceso dependiente del sueño (Schlichting y Preston, 2016). Durante privaciones del sueño, una red amigdaloneocortical es reclutada y permite la recolección de estímulos displacenteros (Schurman et al., 2016). Esta recolección de estímulos displacenteros (nocivos), obedece a un sistema neural redundante, que permite mantener un registro emocional de los posibles fenómenos que representan un peligro

para el bienestar del individuo y no dependen del sueño para ser consolidados (Frick et al., 2015). Los cambios estructurales se ven reflejados en el tipo de memoria, implícita (motor) o explícita (perceptual). La memoria implícita posee múltiples subcomponentes, y prácticamente todos los sistemas cognitivos involucran diferentes sistemas neurales capaces de almacenar algunos tipos de memoria reflexiva (Van Dongen et al., 2016). Entre ellos podemos ver que el cerebelo está relacionado con múltiples formas de aprendizaje esencialmente motoras, la amígdala está relacionada con el temor (miedo), los ganglios basales se encargan de los reflejos operantes, la neocorteza permite el “priming” y la habituación y sensibilización están en íntima relación con las vías sensoriales primarias (Duarte-Guterman et al., 2015).

La amígdala, específicamente el núcleo lateral, juega un papel en la expresión de las emociones, especialmente el miedo y temor, y a su vez representan una conexión entre la somatización de las emociones (hipotálamo y núcleos del tallo cerebral) y la concientización de las emociones (cíngulo, para hipocampo y corteza prefrontal). El núcleo lateral de la Amígdala recibe los estímulos por las vías tálamoamígdala y córticoamígdala (corteza auditiva) y son sensibles a la potenciación a largo plazo lo que permite el condicionamiento al miedo (Garthe et al., 2016). En cambio, la memoria de las actividades motoras es identificada en el cerebelo. La plasticidad de esta forma de memoria depende de las fibras sináptica de las Células de Purkinje (Cameron y Glover, 2015). Estos cambios pueden darse tanto en la corteza cerebral (coordinación en tiempo de los movimientos) como en los núcleos profundos (W. A. Koss y Frick, 2017). Otras funciones en la memoria del cerebelo incluyen el aprendizaje asociativo de las palabras, aprendizaje de laberintos táctiles y percepción de intervalos de tiempo entre estímulos (Inoue et al., 2015). El hipocampo y los sistemas neurales de la zona medial del lóbulo temporal son las principales áreas involucradas en la memoria explícita. El lóbulo temporal

medial se involucra en la memoria, pero en un periodo limitado de tiempo (Frick et al., 2015). Estas estructuras de lóbulo temporal dirigen el procesamiento gradual de la reorganización y estabilización de las representaciones corticales de un solo evento (Rei et al., 2015). Después de que haya pasado suficiente tiempo la formación hipocampal ya no es necesaria para apoyar el almacenamiento o recordatorio de la memoria explícita, dependiendo entonces totalmente de la memoria a largo plazo en la neocorteza. Un fenómeno que ocurre en el proceso de la memoria es la sinaptogénesis (Chen et al., 2015). Se ha descrito que en el hipocampo ocurre un incremento en los contactos sinápticos de las fibras musgosa (McDonald y Mott, 2017).

Algo interesante es que la estimulación de ciertas áreas del lóbulo temporal causa una alteración de la interpretación de lo que nos rodea. El ser humano tiene una contraparte de la memoria, y es la pérdida de esta. La consolidación de la memoria a largo plazo en un individuo que está expuesto a un estímulo y al analizar a profundidad otros procesos neurobiológicos, se determinó que el gran dogma de las neurociencias, que las neuronas no se replican después del nacimiento, siendo esta una afirmación errónea (Garthe et al., 2016). Está establecido que, si existe replicación celular en el ser humano, específicamente en el bulbo olfativo y en el hipocampo. La relación que existe entre la neogénesis neuronal del bulbo olfativo y del hipocampo con la memoria todavía es incierto, si se sabe que la “nueva” memoria se forma en el hipocampo, y esta puede estar ligada a la neogénesis neuronal especialmente porque cuando hay una reducción de la neurogénesis en el hipocampo existe una disminución de algunas de las formas de producción (Cordner y Tamashiro, 2015). La memoria ha evolucionado desde una percepción meramente teórica, con los grandes científicos de la primera mitad del siglo XX abordando la memoria con el estudio de la psicología y el psicoanálisis hasta llegar a un enfoque biológico y molecular que combina los aspectos teórico fundamental y la relación empírica de

sus partes. En el mundo de las neurociencias, y especialmente en el mundo de la neurobiología, los procesos mentales tienen mucho camino por recorrer siendo este el caso de la memoria y el aprendizaje todavía queda mucho por descubrir, determinar y analizar de esa “caja negra” llamada cerebro (Inoue et al., 2015). Los conocimientos actuales han respondido mucha de las preguntas de este complejo tema, pero en un futuro se espera poder responder muchas más interrogantes de esta incógnita denominada memoria y así permitirnos una mejor comprensión de lo que somos dentro de las funciones corticales superiores (Aguirre y Granados, 2015).

### ***2.2.19 Neurogénesis y plasticidad neuronal***

Durante un gran periodo de tiempo se consideró al sistema nervioso central (SNC) como una estructura funcionalmente inmutable y anatómicamente estática (Frisén, 2016). Además de describir esa corriente de la no regeneración neuronal y la pérdida de conexiones dentro de un sistema. Una vez concluido su desarrollo embrionario, era una estructura determinada y finita, solo mutable en caso de lesión o degeneración y claramente irreparable a raíz de su propia naturaleza (Toda y Gage, 2018).

Recientemente esa idea ha evolucionado a tal punto de una transformación radical de antiguas ideas, aquellos circuitos invariables, quedaron atrás (Segi-Nishida, 2017). Aun cuando se abordaban en temas como número de unidades y conexiones entre ellas (Kreutzmann et al., 2015). Todo ello con el objeto de un sistema progresivo, modificado y dinámico (Okamoto y Lipton, 2015).

Sus propiedades se interrelacionan positivamente a cambios en su ambiente, como noción fundamental para comprender sus extraordinarios alcances (Kempermann et al., 2018). Esta nueva visión se sustenta en el concepto de neuro plasticidad, siendo hoy un elemento unificador fundamental o base para comprender procesos tan aparentemente diferentes tales como: el

aprendizaje y la recuperación de funciones tras una lesión (Sominsky et al., 2018). De acuerdo con esta concepción, el SNC, es un producto nunca terminado, es el resultado, en constante transformación, de la interacción de factores genéticos y epigenéticos. En efecto la concepción neuroplástica, del SNC radica en el amplio espectro de las neurociencias, tanto experimentales como aplicadas. A tal punto que se indaga en todas aquellas formas de estimular los cambios plásticos, que permitan la restauración de funciones alteradas por traumas, accidentes vasculares o enfermedades degenerativas (Jiang et al., 2019).

Los mecanismos de la neuro plasticidad son muy diversos y pueden abarcar desde modificaciones morfológicas extensas, como las que se observan en la regeneración de axones y formación de nuevas sinapsis, hasta sutiles cambios moleculares que alteran la respuesta celular a los neurotransmisores. Enfatizando los mecanismos neuronales de la plasticidad, aunque no debe perderse la perspectiva de que cada neurona del SNC es sustentada por una unidad trófica formada por otras neuronas, células de la glía, vasos sanguíneos y moléculas de la matriz celular en aquellos casos en que su papel está mejor establecido.

Sin dejar de lado elementos como la diasquisis, resultado de la no sincronización de funciones por un desequilibrio transitorio entre excitación e inhibición y nada tiene que ver con la neuro plasticidad. De acuerdo con dicha afirmación, se plasma una idea sólida de la regeneración, formación de colaterales axónicas y de nuevas sinapsis, constituyendo la base de la reorganización y recuperación de funciones perdidas por daño a las neuronas.

Hay que tener en cuenta que la modificación de las capacidades funcionales de sinapsis existentes puede contribuir a la compensación funcional a expensas de sinapsis poco activas o silentes que están en la base de lo que se ha dado en llamar plasticidad conductual (Egawa et al., 2016).

### **2.2.20 Niveles**

La actividad física de tipo aeróbica, se encuentra dentro del conjunto de las capacidades físicas que determinan el nivel de aptitud física de un sujeto. Esta involucra el sistema músculo esquelético y el sistema cardio- respiratorio, los cuales condicionan tanto el nivel como la salud del individuo, evidenciado en grandes grupos poblaciones.

El deporte, la educación, y la salud, son áreas que relacionan al individuo como sujeto integral, que cuenta con perspectivas a desarrollar de forma multilateral, esto le garantiza un mejor desenvolvimiento a nivel social y una mejor calidad de vida (DiPiro et al. 2016). La mayor parte de investigaciones relacionadas con este tema, ofrecen interpretaciones y aplicaciones de resultados que son de vital importancia para médicos especialistas, profesionales y técnicos, además de permitir que cualquier usuario pueda tomar conciencia de su nivel físico (Scalzo et al., 2017). Las capacidades físicas son “la expresión manifiesta de numerosas funciones corporales que permiten la realización de una serie de actividades que según sus características reciben diferentes nominaciones; tales como resistencia, velocidad, fuerza, flexibilidad y coordinación” (Knowles et al., 2015). En semejanza a lo anterior, también enfatizan en la resistencia, definida como “la capacidad de soportar una carga durante un largo tiempo, produciéndose finalmente un cansancio insuperable debido a la intensidad y la duración de esta” (Xenophontos et al., 2019).

Las clasificaciones que se han realizado sobre la resistencia son múltiples al igual que los criterios utilizados, a saber: el volumen de la musculatura interviniente, la relación con otras capacidades físicas, duración del esfuerzo, entre otros. No obstante, la clasificación utilizada en esta investigación es la sustentada por la vía energética que se emplea durante el esfuerzo. A lo anterior se le añade que alcanzar y/o mantener altos niveles de resistencia permite al individuo



realizar trabajos físicos exigentes, alterando lo menos posible su estado de equilibrio fisiológico y alcanzando con rapidez el estado normal al terminar la actividad (Karatrantou et al., 2017).

Por lo que se puede afirmar que ante una misma tarea el individuo con alto nivel de resistencia siente menor afección fisiológica que uno que no lo tenga, y la recuperación es mucho más elevada. Para tal efecto, los altos niveles de resistencia no se pueden alcanzar sino a través de un solo camino, que es el de someterse a un intenso y programado entrenamiento (Brocherie et al., 2017). Si bien es cierto que el nivel no es permanente, es decir, una vez alcanzado, es necesario mantener el entrenamiento para no perderlo inexorablemente, similar a una estimación (Gómez-Neto et al., 2016). También es importante, reiterar que el buen nivel de resistencia mejora la salud general del individuo, lo cual coincide con las diversas teorías planteadas.

Otra forma de contribuir fue desde el área de fisiología del ejercicio con aporte y evidencias objetivas en cuanto a que si comparamos a un individuo con moderado nivel de resistencia con otro que no haya alcanzado ese nivel, se puede apreciar una frecuencia cardíaca menor en estado de reposo, un menor consumo de oxígeno durante la realización de un mismo trabajo; después del ejercicio el individuo retorna al estado de reposo con mayor rapidez y tiene una mayor capacidad para realizar más cantidad de trabajo, lo cual significa, indiscutiblemente, que estará necesariamente más saludable.

Todas estas razones dan lugar a cuestionamientos en pro de mejoras a estudiantes universitarios, ideas y reflexiones acerca de planteamientos tales como el procesamiento metabólico de los nutrientes que el organismo ingiere.

La insustituible presencia del oxígeno permite generar la energía que el cuerpo necesita para atender a las distintas actividades vitales, al tiempo que se producen otras dos sustancias de fácil eliminación: el gas carbónico y el agua, esta capacidad se representa determinante en

esfuerzos de mayor intensidad presentes en nuestra vida, en actividades no tan regulares pero que la demanden, como en los trabajos de velocidad, resistencia anaeróbica o muscular (Rooney et al., 2019).

### ***2.2.21 Orígenes centrales e interacciones ejercicio-cerebro, activación del hipocampo.***

Es pertinente retomar la hipótesis de la miosina circulante descrita, con el fin de establecer que las señales pro-cognitivas, se originan desde el musculo y se cruzan hacia el cerebro. Si bien, es una posibilidad, existen alternativas mutuamente excluyentes, donde las señales se originan dentro del cerebro mismo. Extensa literatura, describe las regiones cerebrales involucradas, más aún en la producción de comandos motores, lo que podría liberar factores que afectan directa o indirectamente los diferentes rangos dentro del proceso cognitivo, mediante el impacto generado por el ejercicio. La mayoría de los estudios en humanos, reflejan efectos agudos en la activación cerebral al igual que en el rendimiento cognitivo, factor analizado tras la sucesión inmediata de una sesión de actividad física. Hasta donde se conoce, no hay estudios que relacionen la activación inmediata y aguda de patrones motores, con regiones del cerebro en beneficio cognitivo a largo plazo. Esto probablemente debido a los cambios inmediatos en las regiones motoras que involucren grandes masas musculares, aparentemente relacionando función muscular con procesos cognitivos, añadiéndole aprendizaje espacial, patrones de separación de memoria, atención asociativa y aprendizaje mismo.

Por otro lado, si se observara que el hipocampo se activara de manera aguda durante los periodos de ejercicio, entonces se explicaría los cambios observados en la región en respuesta a los niveles de activación muscular. Para ello es necesario analizar en detalle procesos como sinaptogénesis, factores neurotrópicos y neurogénesis del hipocampo en su estrecha relación con la demanda física. Con esa finalidad, se formularon hipótesis que apoyen la mejora del

aprendizaje memoria, con los cambios neuronales dependientes de la actividad sináptica y la plasticidad estructural en uno de los procesos adaptativos más estudiados, partiendo de las modificaciones comportamentales en el cerebro como en el número de sinapsis dentro de un circuito neuronal. En conclusión, la activación eléctrica en la formación del hipocampo aumenta directamente proporcional a la intensidad de la actividad física conocida, pero sorprendentemente las conexiones de las neuro adaptaciones a largo plazo en el ejercicio aún no se han explorado en su totalidad. Las revisiones sistémicas en la literatura científica abordan agudos fenómenos o contextos crónicos como el apartado mencionado anteriormente, cuyo objeto final es establecer los efectos del ejercicio físico para el SNC, específicamente indagando dentro del hipocampo.

### ***2.2.22 Orígenes periféricos de las interacciones ejercicio-cerebro, hipótesis muscular***

Varios sistemas en el cuerpo realizan procesos fisiológicos y bioquímicos que involucran la circulación en respuesta a la actividad física, a tal punto que los estímulos finales llegan al cerebro como un feedback continuo y en dicha transformación sus afecciones se ven reflejadas en el comportamiento de otros órganos internos. En este sentido y en actuales investigaciones, centran la importancia del músculo-cerebro como eje relacionado al entendimiento de los efectos positivos de este, a través del ejercicio físico.

El músculo esquelético, es el órgano más grande en el cuerpo humano, ligado a una fuerte activación durante el ejercicio, como complemento, evidencia reciente muestra que los metabolitos liberados de un órgano, llegarían afectar las respuestas metabólicas en otros órganos, buscando indagar el comportamiento de tejidos internos durante la actividad física. Como tal, la generación de factores paracrinos por el músculo esquelético, en últimas investigaciones toman como mecanismo potencial subyacente a los efectos del ejercicio físico en plasticidad cerebral,

neurogénesis y rendimiento cognitivo. No obstante, aumentos en el BDNF del hipocampo después del ejercicio, también están ligados a incrementos en la concentración de mediadores abólicos en el músculo. Por ello se hace necesario, que las implicaciones terapéuticas de los músculos generen factores circulantes para la salud del cerebro, ligados a impactos de entrega en el desarrollo péptido, a tal punto de verse inmerso en la implementación de medicamentos que puedan conferir efectos neuro-protectores en el cerebro.

Sin embargo, estos factores circulantes se comportan individual o aisladamente, en la totalidad y sostenibilidad de beneficios en la salud del cerebro respecto a correr. Aunque se busca especificar a profundidad la complejidad de este proceso, escasos estudios evidencian la vinculación de mioquinas y los efectos del SNC ante el ejercicio propiamente. Partiendo de la evidencia anterior, el ejercicio físico fluctúa con el rol de la mioquina a nivel cerebral, pero no está claro si el CTSB derivado del musculo es necesario o si el CTSB hipocampal y muscular simplemente se expresa en respuesta a la actividad física.

### ***2.2.23 Plasticidad funcional***

Las sinapsis son especializaciones anatómicas y funcionales mediante las cuales la información, que circula en forma de pulsos eléctricos, es transferida de una neurona a otra (Song et al., 2017). Las características funcionales de estas estructuras y los mecanismos de suma espacial y temporal que realizan las neuronas postsinápticas son la base de las propiedades integradoras del sistema nervioso (Bliss et al., 2016). La importancia de las sinapsis en los procesos de almacenamiento de información se ha postulado épocas atrás (Tsuda et al., 2017). Estos modelos ‘conectivistas’ de la memoria predicen cambios en la eficacia de la transmisión sináptica, en los circuitos neuronales implicados en la adquisición de nuevos contenidos de memoria (Orozco et al., 2017). Atribuyen, por lo tanto, propiedades plásticas a las sinapsis y

rompen con los conceptos primitivos que consideraban a las sinapsis inmutables en sus propiedades funcionales, como puntos de soldadura entre los componentes de un circuito eléctrico (A. Lee et al., 2016). Las capacidades plásticas de las conexiones sinápticas pueden expresarse de formas diversas por su duración y por los mecanismos implicados (Koga et al., 2015). Existen mecanismos que conducen a cambios transitorios, del orden de milisegundos a minutos, de la eficacia sináptica (Song et al., 2017).

La facilitación o inhibición por pulsos pareados y la llamada potenciación postetánica son ejemplos de estas formas efímeras de plasticidad, que parecen depender de la acumulación de  $\text{Ca}^{2+}$  residual en la terminal presináptica (Toledo et al., 2018). Así mismo, su duración es limitada por los mecanismos de tampón que reducen la concentración de este ion (Hassevoort et al., 2016). Sin embargo, existen formas mucho más duraderas de plasticidad sináptica.

En la última década, se publicaron dos artículos simultáneos en el *Journal of Physiology* (Londres), en los que se describía un fenómeno de modificación a largo plazo de la eficacia de la transmisión sináptica (Suwabe et al., 2017). Este fenómeno se ha llamado potenciación a largo plazo y se considera, hasta hoy, como el mejor modelo de cambio funcional en la conectividad sináptica dependiente de la actividad. Desde su descubrimiento se les vinculó a los procesos de memoria, aunque en la actualidad se propone también como un mecanismo importante en la maduración funcional de las sinapsis y en los procesos de remodelación que conducen a la recuperación de funciones perdidas como consecuencia de lesiones o trastornos degenerativos.

#### ***2.2.24 Plasticidad por crecimiento***

Tiempo atrás, se afirmó que los axones del sistema nervioso periférico podían regenerarse por crecimiento a partir del cabo proximal (Kreutzmann et al., 2015). Ello no ocurre en el SNC de los mamíferos, aunque sí en vertebrados más primitivo (Parihar et al., 2015). Al

parecer, la ausencia de regeneración no se debe a una incapacidad esencial de las neuronas centrales, por cuanto cerca de las neuronas dañadas se encuentran signos de regeneración abortiva, llamada gemación (sprouting) regenerativo periférico (A Cattaneo et al., 2015). Existen evidencias de que la mielina central y los oligodendrocitos que la producen contienen sustancias que inhiben la regeneración axonal (Petsakou et al., 2015). La regeneración axonal sería útil sobre todo para la reparación de tractos de fibras largas, como los del nervio óptico –que no es un nervio periférico– o los que actúan en la médula espinal. Actualmente se experimentan nuevas estrategias para promover su regeneración: puentes de nervio periférico, factores tróficos o anticuerpos monoclonales diseñados para bloquear los factores inhibidores gliales (Wu et al., 2015).

La ausencia de regeneración axonal no significa que no ocurran cambios regenerativos ante la pérdida de inervación (Halder et al., 2016). Estos cambios, además, pueden tener profundas influencias en la recuperación de funciones perdidas (Timofeev y Chauvette, 2017).

Una forma bien estudiada es la llamada colateralización o gemación (sprouting) colateral (Muenz et al., 2015). La colateralización se diferencia de la regeneración en que el crecimiento ocurre a expensas de axones sanos, que pueden provenir de neuronas no afectadas por la lesión o de ramas colaterales de los mismos axones dañados que la lesión no llegó a afectar (He et al., 2016).

Aunque suele distinguirse esta segunda variante con el nombre de efecto de poda (pruning), los mecanismos de ambas formas de crecimiento axonal colateral parecen ser muy similares a pesar de agentes diferentes los inician (Chéreau et al., 2017). La colateralización puede ocurrir a partir de axones del mismo tipo de los dañados (colateralización homotípica) o de otro tipo, un ejemplo de ello es la colateralización heterotípica (Egawa et al., 2016).

El proceso de colateralización normalmente concluye con la formación de nuevas sinapsis que reemplazan a las que se han perdido por la degeneración retrógrada de los axones destruidos (Vromen et al., 2016). Este proceso se ha llamado sinaptogénesis reactiva, para distinguirlo de la sinaptogénesis que normalmente sucede en las etapas intermedias del desarrollo embrionario; no obstante, no parece existir diferencia alguna entre los mecanismos de una y otra.

La mayor parte de los estudios experimentales sobre los mecanismos de colateralización se ha realizado utilizando el modelo de lesión de la vía perforante que proyecta la corteza, al giro dentado del hipocampo. Esta proyección es glutamatérgica y las fibras que la integran se distribuyen en el campo dendrítico de las neuronas granulares del giro dentado siguiendo un patrón regular y ordenado (Tashiro et al., 2017).

Las regiones más distales del campo dendrítico reciben las fibras que se originan en la parte lateral de la corteza entorrinal, mientras que aquellas que proceden de la porción medial de la corteza entorrinal terminan sobre el tercio medio del campo dendrítico (Faigenbaum et al., 2017). Estas dos subregiones se corresponden anatómicamente con el llamado estrato molecular externo (Egawa et al., 2016). El tercio interno del campo dendrítico, correspondiente al estrato molecular interno, recibe fibras colinérgicas y gabérgicas del septum, noradrenérgicas y serotoninérgicas desde núcleos de la formación reticular, así como fibras asociativas y comisurales de otras regiones del hipocampo y contralateral, respectivamente (Tedeschi et al., 2016). La lesión de la corteza entorrinal provoca una reducción significativa del estrato molecular externo que se acompaña de la expansión del estrato molecular interno. La producción de nuevas células nerviosas en el cerebro adulto se ha demostrado en todas las clases de vertebrados (Singh et al., 2015). Las células progenitoras son capaces de generar neuronas, astrocitos y oligodendrocitos, y su diferenciación parece controlada por señales ambientales que

incluyen al ácido retinoico, a la adenosina monofosfato cíclico (AMPc) y factores tróficos (Carmichael, 2016). La depleción de serotonina reduce la producción de células nerviosas en el giro dentado y lo mismo ocurre por deficiencia en hormonas tiroideas (Mohanty et al., 2015). Por otra parte, las crisis epilépticas aceleran la neurogénesis y la formación de circuitos aberrantes que son importantes en la progresión del trastorno.

El establecimiento de circuitos aberrantes significa que las nuevas neuronas pueden formar sinapsis, a lo cual contribuye la expresión de moléculas de adhesión como la NCAM. Un hallazgo interesante es el hecho de que ratas viejas que habitan en un ambiente complejo muestran un incremento de la neurogénesis. Las células nerviosas recién formadas pueden migrar a regiones distantes, lo que añade un posible valor terapéutico a este interesante mecanismo.

Una comunicación reciente va más allá al proponer que neuronas ya diferenciadas pueden recuperar sus capacidades mitóticas si se colocan en un ambiente adecuado (Voss *et al.*, 2019). Se trata de un único estudio *in vitro* que debe ser analizado a fondo, pero extraordinariamente intrigante (Maass et al., 2015). Aunque no está resuelta la controversia sobre si existe neurogénesis en el cerebro adulto de los primates, es indudable que poder modular la formación de nuevas células nerviosas es una promesa de enormes potencialidades para la neurología restaurativa (Wåhlin y Nyberg, 2019).

### ***2.2.25 Relación entre actividad física, hipocampo y procesos de enseñanza-aprendizaje***

La relación entre la actividad física, el aprendizaje o la cognición en general, ha sido sistemáticamente no relevante en la investigación educativa, un sesgo producto de la falta de información al respecto. La práctica de la actividad física se ha potenciado en las últimas décadas como una obligación mas no una necesidad, generando que ésta se incorpore al entorno



educativo como un elemento de distensión y recreación, muy lejos de las disciplinas consideradas generadoras de aprendizajes significativos (Serrano et al., 2017).

De manera análoga, las ciencias biológicas y las cognitivas han llegado a una puesta en común, con la finalidad de comprender las bases biológicas de la conciencia y de los procesos mentales por los que percibimos, actuamos, aprendemos y recordamos. Para ello, se han visto inmersas unas series de disciplinas en la búsqueda de lo que sabe el organismo propiamente acerca del mundo y el cómo llega a saberlo. Esta asociación de disciplinas es conocida como neurociencia. La neurociencia dentro de su amplia estructura conceptual es considerada en medida como el conjunto de ciencias cuyo objeto de investigación es el sistema nervioso, con particular interés en cómo la actividad del cerebro se relaciona con la conducta y el aprendizaje. A raíz de esto, se ha generado una mirada no tan a fondo o fundamental en relación a la actividad física, aprendizaje en general e hipocampo (Marqués y Osses, 2014).

Desde el punto de vista científico, la actividad física y sus beneficios en la función cognitiva han sido vinculados con el aumento de la secreción de factores neurotróficos derivados del cerebro (BDNF: brain derived neurotrophic factor) junto a otros factores de crecimiento que estimulan la neurogénesis, aumentan la resistencia al daño cerebral, mejoran la capacidad de aprendizaje y potencian el desarrollo mental.

En efecto desde el método científico, se plantea que el ejercicio es un comportamiento simple y ampliamente practicado, que activa patrones moleculares y celulares que no solo apoyan, sino que mantienen la maleabilidad del cerebro, induciendo la expresión de genes asociados tanto con la plasticidad como con la codificación del BDNF, lo que a su vez contribuye a la vascularización cerebral, a cambios en la estructura neuronal, retardando el envejecimiento y daño cerebral.

Cabe destacar que estos efectos ocurren en el hipocampo propiamente, una región del cerebro asociada al aprendizaje significativo y el almacenamiento de la memoria, entre otras funciones que en su actividad cerebral demandan altos niveles de oxígeno (Berchtold et al., 2010). Los estudios neurobiológicos de la conducta, que se llevan a cabo en la actualidad, no han tomado un referente como lo es la población universitaria. Existe una llana preocupación por cómo se relacionan las moléculas responsables de la actividad de las células nerviosas con la complejidad de los procesos mentales en la edad adulta tardía y procesos longevos. Una década atrás, ya se tenían hipótesis de investigación sobre las repercusiones directas en la educación y basándose en la capacidad del cerebro humano para categorizar, se postuló que podría ser la clave para comprender las diferencias individuales desde la estructura del cerebro en función del tiempo de vida, en sus diferentes etapas. La tarea central de la neurociencia es la de intentar explicar cómo es que actúan millones de células nerviosas individuales en el encéfalo para producir la conducta y cómo, a su vez, estas células están influidas por el medioambiente, incluyendo la conducta de otros individuos. Precisamente, la neurociencia está contribuyendo a una mayor comprensión a cuestiones de gran interés para los educadores, ya hay evidencias según lo muestran las investigaciones de que tanto un cerebro en desarrollo como uno ya maduro se alteran estructuralmente cuando ocurren los aprendizajes y estos podrían ser mejorados exponencialmente ante la presencia de oxígeno, en dependencia de la actividad física realizada.

### ***2.2.26 Velocidad de procesamiento de la información***

La velocidad de procesamiento o rapidez de procesamiento es uno de los principales elementos del proceso cognitivo, por lo que resulta un elemento clave en el aprendizaje y rendimiento académico, en desarrollo intelectual, razonamiento y la experiencia. La velocidad de procesamiento es una habilidad cognitiva que se puede definir como el tiempo que le lleva a una

persona hacer una tarea mental. Tiene que ver con la velocidad en la que una persona capta y reacciona a la información que recibe, ya sea por vía visual (letras y números), auditiva (lenguaje) o del movimiento. Es decir, la velocidad de procesamiento es el tiempo que se tarda entre que se recibe el estímulo y se emite una respuesta (Junqué y Jódar, 1990).

Tener una velocidad de procesamiento lenta no quiere decir que seamos menos inteligentes sino que iremos más lentos haciendo determinadas tareas como leer, hacer cálculos matemáticos, escuchar y tomar apuntes o mantener conversaciones. También puede interferir en las habilidades ejecutivas, por lo que una persona con velocidad de procesamiento lenta le costará más, o tardará más tiempo en planificarse, fijarse metas, tomar decisiones, iniciar las tareas, mantener la atención.

La velocidad de procesamiento implica la capacidad de realizar con fluidez las tareas fáciles o ya aprendidas. Se refiere a la capacidad de procesar información de forma automática y por lo tanto, rápidamente, sin pensar conscientemente en ella. Cuanta mayor velocidad de procesamiento más eficientemente se pensará y aprenderá. Finalmente, la velocidad o rapidez de procesamiento cognitivo es el tiempo que transcurre desde que recibes la información hasta que la entiendes y comienzas a responder (Perea et al., 2019).

### **2.3 Marco legal**

La constitución política de Colombia, en el ejercicio de su poder soberano y representado por la asamblea nacional constituyente en el marco de la unidad de la nación, dentro de su ejercicio democrático y participativo hacia la promoción de la educación, el orden político, económico, social y justo, promulga apartados como en el marco de la ley 115, en su diario oficial No. 41.214, del 8 de febrero de 1994, decreta a la educación como un proceso de formación asociado permanentemente a los ámbitos personales, culturales y sociales,

fundamentando la concepción integral de la persona humana. Siendo el mismo derecho y deber digno de servicio público en función social. Instancia última en respuesta a necesidades e intereses de persona, familia y sociedad. Ya, por último, en desarrollo al derecho de la educación regido especial por el carácter estatutario. Por su parte la ley 30, la cual organiza el servicio público de la educación superior, del 28 de diciembre de 1992, decreta los principios educativos superiores como procesos permanentes facilitadores al desarrollo de las capacidades del ser humano íntegramente en sus diferentes niveles. Por otro lado, se cataloga mediante subíndices sucintos a la iniciación, formación y especialización de este, estableciendo así, disposiciones para el fomento de su práctica, al igual que la recreación, aprovechamiento del tiempo libre y la educación física, última instancia patentada bajo el Sistema Nacional del Deporte y el Ministerio Nacional del Deporte. La ley 181 de enero 18 de 1995, garantiza el acceso al individuo y a la comunidad, para una adecuada promoción de la educación extraescolar de la niñez y la juventud en todos los niveles y estamentos sociales del país, en desarrollo del derecho de todas las personas a ejercitar el libre acceso a una formación física y espiritual pertinente. Así mismo, la implantación y fomento de la educación física para contribuir a la formación integral.

### **3 Metodología**

En este capítulo se detallan los diferentes procesos que en su conjunto, permitieron llevar a cabo la investigación. En los primeros apartados se definen el paradigma investigativo y el diseño metodológico. A continuación se describen las características de la población y los factores de inclusión y exclusión, además de las consideraciones éticas y los instrumentos utilizados para recolectar la información. Por último, se presenta la operacionalización de las variables y el plan de recolección de datos.

### **3.1 Tipo de paradigma**

Esta investigación se sustentó en un paradigma positivista (cuantitativo), describiendo las variables en expresiones numéricas y obteniendo los resultados mediante estadísticos de prueba.

### **3.2 Tipo de investigación**

Diseño cuasi experimental de temporalidad longitudinal y alcance explicativo, con el cual se buscó demostrar que existía una relación de causa-efecto entre las variables estudiadas.

### **3.3 Población y muestra**

La unidad de análisis fueron 36 estudiantes del programa académico de pregrado en cultura física, deporte y recreación de la universidad Santo Tomas, seccional Bucaramanga. Esta muestra fue obtenida por conveniencia, debido a las condiciones especiales de aislamiento surgidas por la propagación del virus COVID-19.

### **3.4 Criterios de elegibilidad y exclusión**

Para obtener una muestra homogénea, se definieron los siguientes criterios:

#### ***3.4.1 Criterios de elegibilidad***

- Estudiantes de cultura física, recreación y deportes, con matrícula vigente en la institución elegida.
- No manifestar riesgo óseo-muscular, metabólico, o cardiovascular.
- Aceptar la participación voluntaria en la investigación y firmar el consentimiento informado.

#### ***3.4.2 Criterios de exclusión***

- Estudiantes con limitaciones visuales como daltonismo o miopía severa que le impidieran observar adecuadamente la prueba.

- Estudiantes con alteraciones psicológicas que le impidieran responder de manera coherente la prueba.
- Estudiantes con dificultades motoras que afectaran la velocidad de respuesta.

### **3.5 Consideraciones éticas**

El estudio fue aprobado por el Comité de Investigación de la Facultad de Ciencias Sociales, Humanidades y Artes de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. De acuerdo a lo consignado en el artículo 11, literal a de la Resolución 8430 de 1993, emitida por el gobierno colombiano, esta investigación se clasifica como un estudio sin riesgo. Por último, dando cumplimiento a la normatividad vigente sobre consentimientos informados, Ley 1581 de 2012 y Decreto 1377 de 2013, todos los participantes firmaron un consentimiento informado, con el cual aceptaban su participación voluntaria.

### **3.6 Instrumentos de recolección de información**

A continuación se presentan los instrumentos utilizados para recolectar los datos de la investigación:

#### **3.6.1 Cuestionario GPAQ**

El cuestionario mundial sobre actividad física, GPAQ (por sus siglas en inglés), fue desarrollado por la OMS, con el objetivo de monitorear los hábitos de actividad física de la población. Este instrumento se encuentra validado en varios países. Se utilizó para indagar respecto a los minutos que dedican los estudiantes a la actividad física en el tiempo libre (Apéndice A).

#### **3.6.2 Cuestionario PAR-Q**

El cuestionario PAR-Q fue desarrollado por la Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio con el objetivo de valorar la existencia de posibles riesgos antes de iniciar un programa

de actividad física. Este instrumento se encuentra validado en varios países. Se utilizó para valorar el riesgo osteo-muscular, metabólico, o cardiovascular de los participantes (Apéndice B)

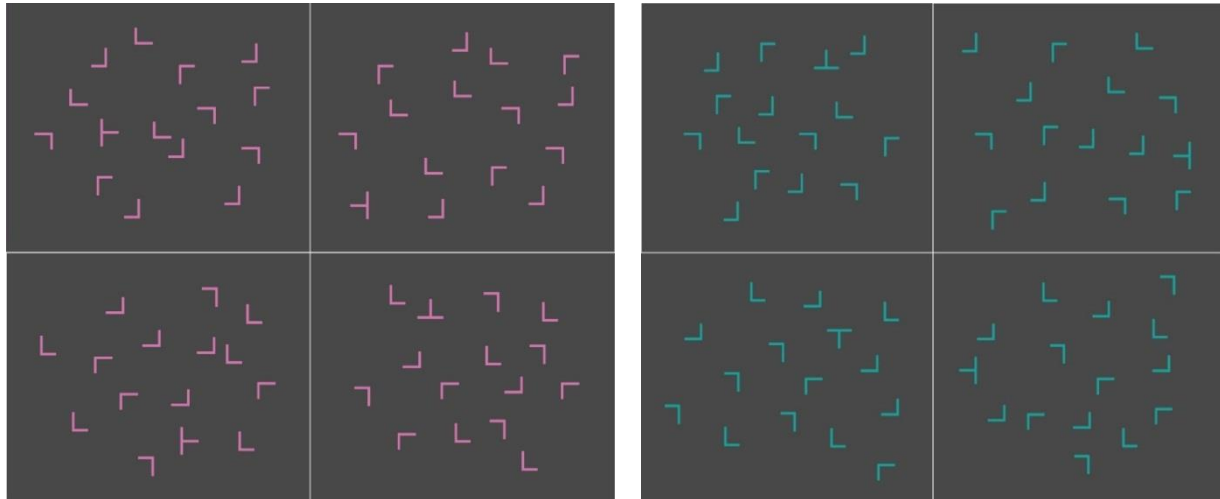
### ***3.6.3 Tarea de búsqueda visual***

Para medir la memoria hipocampal y estriatal se diseñó una tarea de búsqueda múltiple en el software MatLab versión 7.0. Dicha tarea consistió en la rápida identificación de un objetivo incrustado en una matriz espacial, con una serie de distractores articulados. El objetivo era un estímulo “T” girado 90° a la derecha o a la izquierda y los distractores se representaban con la forma “L”, ubicados aleatoriamente en cuatro orientaciones diferentes, manteniendo una rotación angular de 0°, 90°, 180° y 270° respectivamente. Las configuraciones de objetivo y distractores se generaban al azar por participante y el color predictivo azul (RGB 0 240 240) o rosa (255 134 214) indicaba su asignación aleatoria. El software devolvía el tiempo empleado por cada estudiante para encontrar el estímulo “T”.

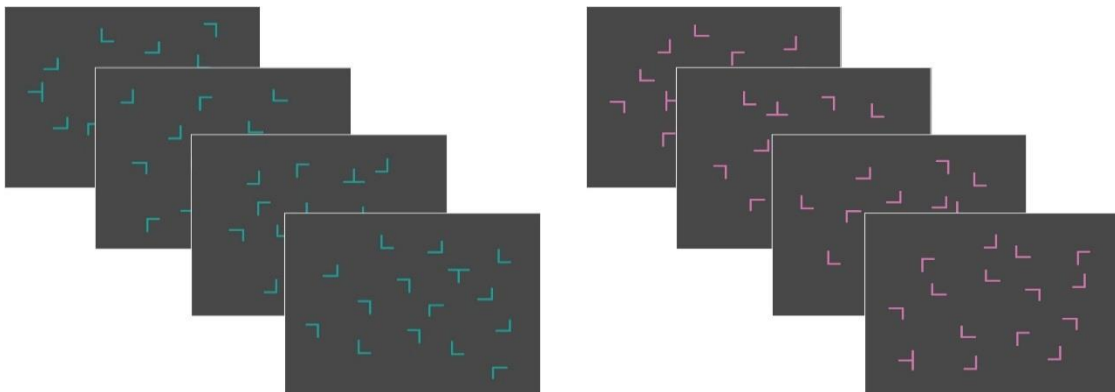
La Figura 2 presenta un ejemplo de la búsqueda visual por cuadrantes y la Figura 3 presenta un ejemplo de la búsqueda visual por cuadrantes superpuestos.

**Figura 2**

*Tarea de búsqueda visual por cuadrantes*

**Figura 3**

*Tarea de búsqueda visual por cuadrantes sobrepuestos*



### 3.7 Variables

#### 3.7.1 Variable independiente: actividad física

Variable continua. Son los minutos del tiempo libre semanal que dedica el estudiante a realizar actividad física. El valor inicial se obtuvo mediante pregunta directa al estudiante.



### 3.7.2 *Variables sociodemográficas*

VARIABLES QUE PERMITIERON CARACTERIZAR LA POBLACIÓN DE ESTUDIO. SE INCLUYERON EL SEXO, LA EDAD Y EL NOMBRE DE LA UNIVERSIDAD A LA CUAL PERTENECE EL ESTUDIANTE.

### 3.7.3 *Variables dependientes*

**3.7.3.1 Memoria dependiente del hipocampo.** Variable continua. Corresponde a la diferencia de tiempo de reacción entre un estímulo nuevo y un estímulo repetido. Asumía valores entre -10 segundos y +10 segundos.

**3.7.3.2 Memoria dependiente del cuerpo estriado.** Variable continua. Corresponde a la diferencia de tiempo de reacción entre un estímulo nuevo y un estímulo-respuesta. Asumía valores entre -10 segundos y +10 segundos.

**3.7.3.3 Tiempo de reacción a cuadrantes nuevos.** Variable continua. Corresponde al tiempo promedio empleado por el estudiante para dar respuesta a cuadrantes que se le presentaron una única vez durante la prueba. A menor tiempo, mejor tiempo de respuesta presenta el estudiante. Podía asumir valores entre 0 segundos y 10 segundos.

**3.7.3.4 Tiempo de reacción a cuadrantes repetidos.** Variable continua. Corresponde al tiempo promedio empleado por el estudiante para dar respuesta a cuadrantes que se le presentaron dos o más veces durante la prueba. A menor tiempo, mejor tiempo de respuesta presenta el estudiante. Podía asumir valores entre 0 segundos y 10 segundos.

**3.7.3.5 Tiempo de reacción a cuadrantes estímulo respuesta.** Variable continua. Corresponde al tiempo promedio empleado por el estudiante para dar respuesta a cuadrantes basados en colores predictivos. A menor tiempo, mejor tiempo de respuesta presenta el estudiante. Podía asumir valores entre 0 segundos y 10 segundos.

### **3.8 Recolección de los datos**

Para recolectar los datos sociodemográficos, el nivel de actividad física, y valorar el riesgo óseo-muscular, metabólico y cardiovascular, se digitalizaron en la plataforma Microsoft Forms los cuestionarios GPAQ y PAR-Q. El enlace fue enviado a 50 estudiantes de los cuales respondieron 36, cifra que corresponde a la muestra final. Este proceso se realizó antes de la intervención.

Las tareas de búsqueda visual pre y pos, se realizaron en la biblioteca del campus de la facultad de cultura física, deportes y recreación de la universidad Santo Tomas, seccional Bucaramanga, manteniendo protocolos iguales en ambos momentos.

#### ***3.8.1 Protocolo de las tareas de búsqueda visual***

Los estímulos visuales se presentaron en un monitor estándar ubicado a 50 centímetros del estudiante. Todas las pruebas tenían exactamente los mismos colores, azul y rosado para los objetivos y los distractores y, gris para el fondo de pantalla. Cada pantalla constaba de un solo objetivo “T” y los elementos restantes, eran los distractores. La aleatoriedad de los cuadrantes dependía de la medida estándar de la matriz. El objetivo se presentaba durante 0.5 segundos, seguido de otra presentación en pantalla, con lo cual se exhortaba al participante a dar una rápida respuesta. Los participantes presionaban dos teclas en función de la dirección de la “T”, derecha o izquierda. El periodo de descanso entre bloques fue de 10 segundos.

Los sesgos que se pudieran presentar debido a factores como la frecuencia de aparición por cuadrante, la distancia al punto de fijación, la dirección por patrón motor en respuestas similares, se controlaron mediante la creación de ocho configuraciones únicas por cuadrante.

### 3.8.2 *Protocolo de intervención en la actividad física*

Una vez conocida la media del tiempo de actividad física de cada estudiante, se emparejaron en grupos homogéneos. Esto permitió realizar sesiones de intensidad similar para cada grupo.

Las sesiones de actividad física fueron dirigidas en cintas de correr estacionarias. Al inicio de la intervención, cada participante recibió una inducción respecto al protocolo que se mantendría durante la realización de cada sesión y el objetivo final de la intervención.

Cada sesión iniciaba con cinco minutos de calentamiento, seguido de la actividad física y finalizaba con cinco minutos de recuperación y estiramiento. El objetivo de intensidad para cada sesión se determinó en función a la frecuencia cardíaca objetivo aplicando la fórmula del método de Karvonen.

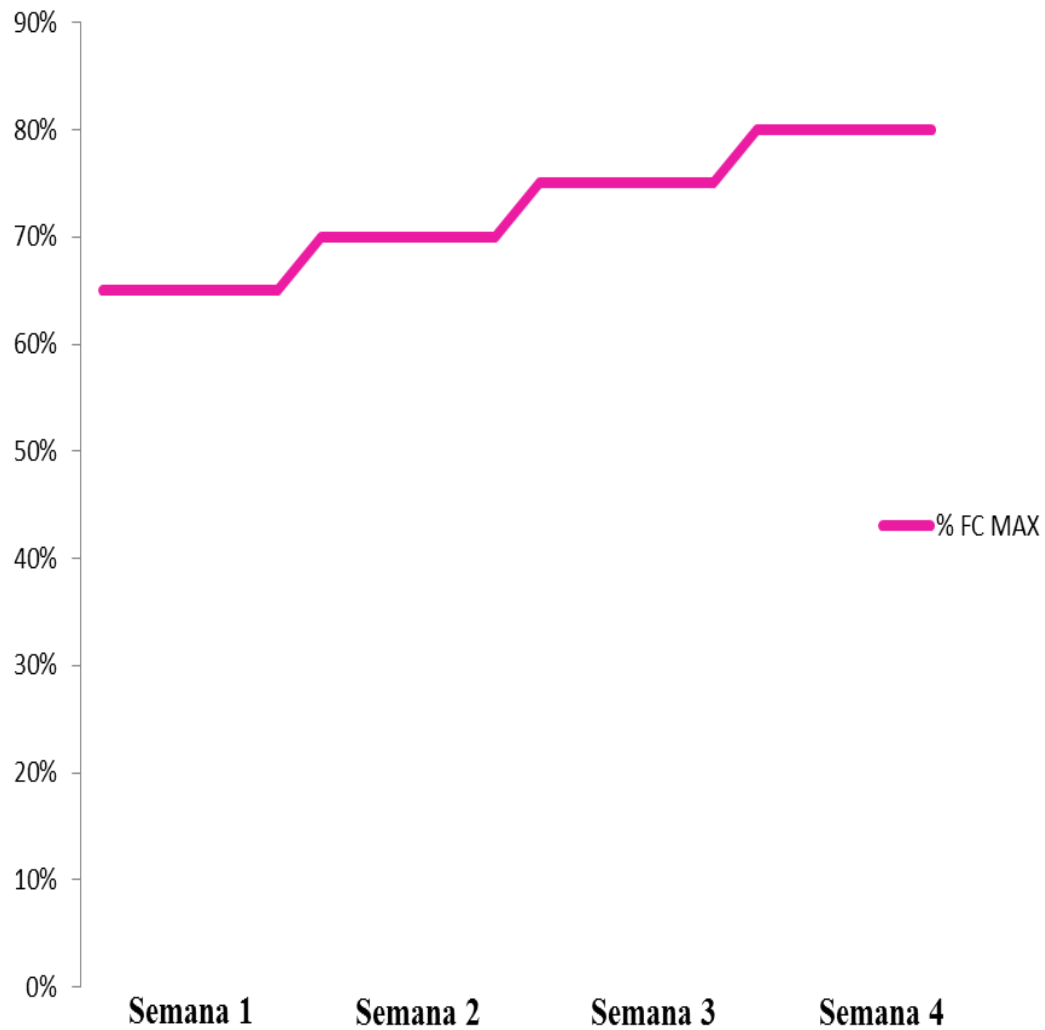
Cada participante inicio al 65% de su frecuencia cardíaca máxima durante la primera semana. A partir de la semana dos, la intensidad aumentaba un 5% durante cada semana finalizando en la semana cuatro al 80 % de la FC máx. Este incremento se lograba mediante el ajuste del ritmo de carrera en la banda sin fin.

A lo largo de las sesiones, la duración del intervalo de carrera aumentaba cinco minutos, con descansos para caminar o trotar a un ritmo moderado o progresivo durante un minuto, al comienzo del período de la sesión, hasta treinta minutos continuos de carrera, al final de la intervención aeróbica. (Maass, A. et al., 2015).

La Figura 4 describe la progresión semanal de la FC máxima en los estudiantes.

**Figura 4**

*Progresión semanal de la FC máxima en los estudiantes*



Contar con un plan metodológico claramente definido, permitió desarrollar cada uno de los procesos de forma fluida y controlada, evitando así la probabilidad de errores o sesgos en los datos recolectados.

## 4 Análisis y resultados

Los análisis estadísticos realizados a los datos y los resultados obtenidos se presentan en este capítulo.

### 4.1 Análisis de los datos

Se realizó un análisis descriptivo de los datos sociodemográficos. Las frecuencias se describen en valores absolutos y porcentuales. Se empleó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la distribución de las variables continuas. En los datos que no presentaron normalidad, se describe la mediana y el rango intercuartil.

Se utilizó la prueba  $r$  de Pearson para determinar si existía asociación entre los minutos dedicados a la actividad física y los tiempos de aprendizaje y reacción.

Se realizaron análisis de tendencia para demostrar la existencia de cambios entre los tiempos obtenidos al aplicar la prueba, pre y pos a la intervención.

Se aplicó la prueba ANOVA multifactorial para determinar si existían diferencias estadísticas significativas entre los tiempos obtenidos al aplicar la prueba pre y pos a la intervención. Se aplicó la prueba de Mauchly para establecer la esfericidad de los datos y el ajuste de Bonferroni para las comparaciones de los factores. El nivel de significancia para todas las pruebas estadísticas se estableció en  $p \leq 0,05$ .

Los análisis se realizaron con el software IBM SPSS Statistics versión 25.

### 4.2 Resultados

La mayor parte de la población de estudio fue de sexo masculino (94,4%). Todos los estudiantes pertenecían a la Universidad Santo Tomás sede Bucaramanga. La mediana de edad fue de 20 años (RI 2). Respecto a los minutos semanales dedicados a la actividad física, la

mediana inicial fue de 510 min y la mediana final de 660 min, manteniéndose el mismo rango intercuartil, 285 minutos. La Tabla 1 describe estos resultados.

**Tabla 1**

*Descripción sociodemográfica de la población de estudio*

Variable	Consolidado		Hombres		Mujeres	
	n	%	n	%	n	%
Sexo	36	100	34	94,4	2	5,6
<b>Universidad</b>						
Universidad Santo Tomás	36	100	34	94,4	2	5,6
			<b>Mediana</b>		<b>RI</b>	
Edad			20		2	
Minutos de actividad física semanal*			510		285	
Minutos de actividad física semanal**			660		285	

*Nota.* \* Pre - intervención

\*\* Pos - intervención

La prueba de correlación no demostró una asociación estadísticamente significativa entre los minutos semanales de actividad física y los tiempos de aprendizaje y reacción. En todos los casos  $p > 0,05$ . La Tabla 2 describe estos resultados.

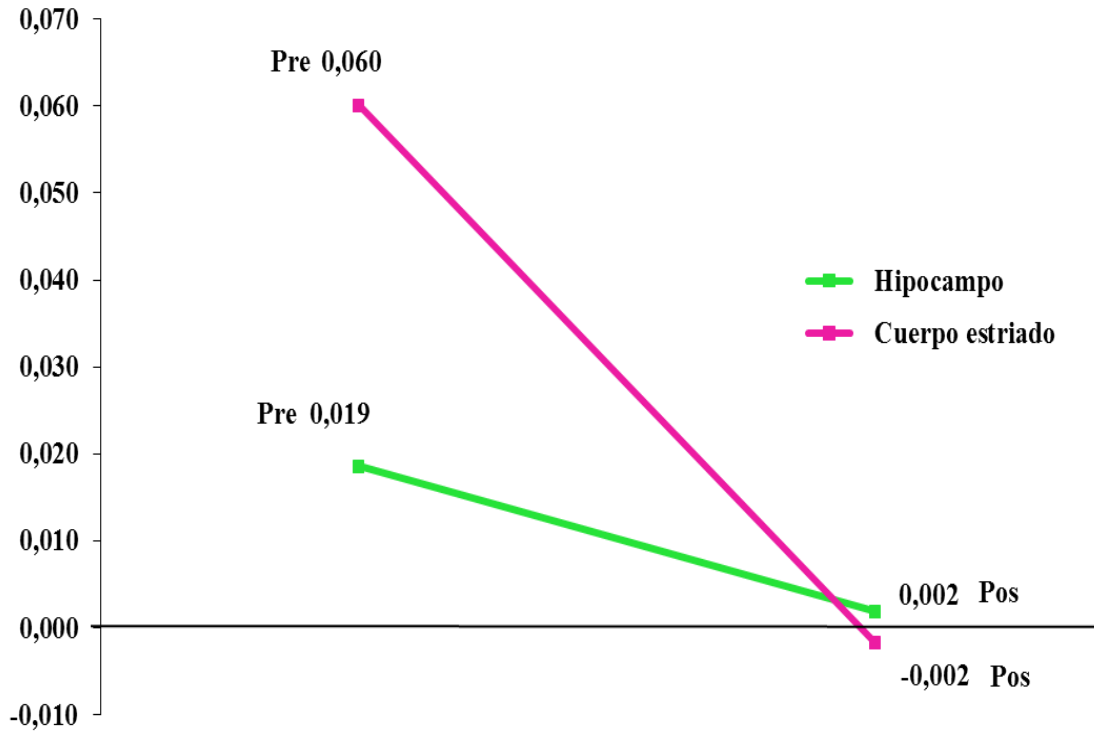
**Tabla 2***Resultados análisis de correlación*

Variables	Minutos semanales de actividad física	
	r	p-valor
<b>Tiempos de aprendizaje</b>		
Hipocampo	0,258	0,129
Cuerpo estriado	0,061	0,723
<b>Tiempos de reacción</b>		
Cuadrantes nuevos	0,156	0,363
Cuadrantes repetidos	0,065	0,707
Cuadrantes estímulo/respuesta	0,109	0,526

La media del tiempo necesario para el aprendizaje disminuyó después de la intervención a los estudiantes. El aprendizaje dependiente del hipocampo pasó de requerir 0,019 para realizar una acción a requerir 0,002. De igual forma, el aprendizaje dependiente del cuerpo estriado pasó de requerir 0,060 para realizar una acción a requerir -0,002. La Figura 5 describe de forma gráfica estos resultados y la Tabla 3 presenta los estadísticos descriptivos de los tiempos de aprendizaje.

**Figura 5**

*Comparación de tiempos de aprendizaje pre y pos de los estudiantes*



**Tabla 3**

*Estadísticos descriptivos tiempos de aprendizaje*

Variable	Media	Desv est.
Hipocampo*	0,019	0,113
Hipocampo**	0,002	0,074
Cuerpo estriado*	0,060	0,214
Cuerpo estriado**	-0,002	0,129

*Nota.* \* Pre - intervención

\*\* Pos - intervención

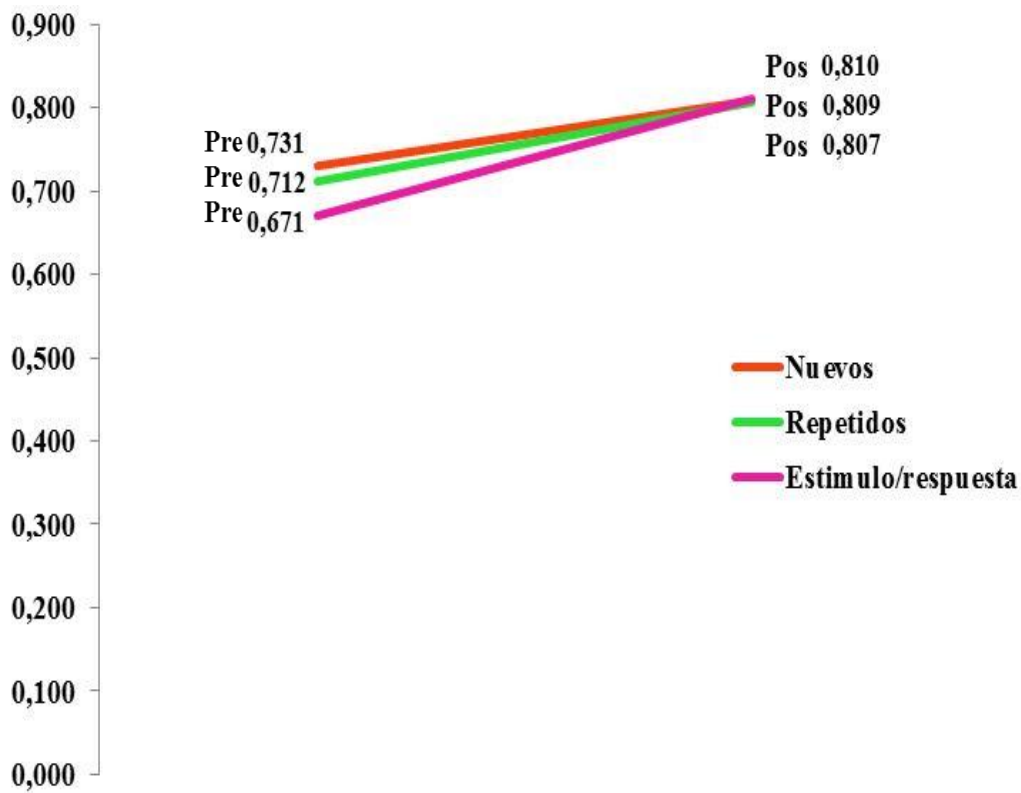


Por otra parte, se halló que el tiempo promedio de reacción de los estudiantes para resolver los cuadrantes nuevos, repetidos y de estímulo/respuesta, aumentó después de la intervención. De estos, los de mayor incremento fueron los cuadrantes de estímulo/respuesta, pasando de 0,671 en la pre-intervención a 0,807 en la pos-intervención. La

Figura 6 describe de forma gráfica estos resultados y la Tabla 4 presenta los estadísticos descriptivos de los tiempos de aprendizaje.

### Figura 6

*Comparación de los tiempos de reacción pre y pos de los estudiantes*



**Tabla 4***Estadísticos descriptivos tiempos de reacción*

<b>Cuadrantes</b>	<b>Media</b>	<b>Desv est.</b>
Nuevos*	0,731	0,305
Nuevos**	0,809	0,200
Repetidos*	0,712	0,284
Repetidos**	0,807	0,222
Estimulo / respuesta*	0,671	0,316
Estimulo / respuesta**	0,810	0,254

*Nota.* \* Pre - intervención

\*\* Pos - intervención

Los resultados de la prueba ANOVA multifactorial indican que la mejora en el tiempo de aprendizaje dependiente del hipocampo y el tiempo de aprendizaje dependiente del cuerpo estriado no fueron estadísticamente significativos ( $p > 0,05$ ).

Así mismo, el aumento en el tiempo de reacción de los cuadrantes nuevos y repetidos no fueron estadísticamente significativos ( $p > 0,05$ ). Estos resultados contrastan con lo observado en el tiempo de reacción a los cuadrantes de estímulo respuesta en el cual si se observa una diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ ). El valor negativo descrito en la diferencia de medias (-0,140) indica que después de la intervención, los estudiantes emplearon un mayor tiempo para encontrar el estímulo camuflado en los distractores. La Tabla 5 describe estos resultados.

**Tabla 5***Resultados ANOVA multifactorial*

Variables	Diferencia de medias (Pre) - (Pos)	Desv. Error	p- valor	IC 95%	
				Límite inferior	Límite superior
<b>Tiempos de aprendizaje</b>					
Hipocampo	0,017	0,023	0,481	-0,031	0,064
Cuerpo estriado	0,062	0,047	0,193	-0,033	0,156
<b>Tiempos de reacción</b>					
Cuadrantes nuevos	-0,078	0,048	0,111	-0,174	0,019
Cuadrantes repetidos	-0,095	0,051	0,072	-0,198	0,009
Cuadrantes estímulo respuesta	-0,140	0,062	0,030	-0,265	-0,014

## 5 Discusión

Todos los sujetos de estudio reportaron que realizaban durante la semana más de 150 minutos de actividad física en el tiempo libre; la mediana del grupo fue de 510 minutos (R.I. 285 minutos). Este valor supera el tiempo recomendado por la OMS para el rango etéreo de la muestra, 150 minutos semanales y discrepa con lo enunciado por Loprinzi et al (2017), quienes caracterizaron a esta población como propensa al sedentarismo. Este resultado es consecuente con el perfil requerido para los estudiantes de las áreas deportivas, de quienes se espera una alta predilección por la práctica deportiva.

Con la realización de la prueba de correlación se logró descartar un sesgo en la investigación, dado que evidenció la inexistencia de una asociación entre el tiempo dedicado a la actividad física y los tiempos de aprendizaje y reacción de los sujetos, en otras palabras, no necesariamente quienes realizan mayor actividad física, obtienen mejores resultados en las pruebas, por lo tanto todos los participantes iniciaban en igualdad de condiciones. Este hallazgo es consecuente con lo reportado por Sexton et al. (2020), quienes lograron en el grupo intervenido una mejora en la capacidad cardiorrespiratoria, pero no hallaron cambios en el

funcionamiento cognitivo o medidas de la estructura cerebral; sin embargo, si encontraron una disminución en los riesgos asociados a la demencia y el deterioro cognitivo.

A partir de la intervención realizada, se observó en los sujetos una disminución del 89% en el tiempo necesario para el aprendizaje, pasando de 0,019 en el test a 0,002 en el pos-test. Un resultado similar obtuvieron Bullock y Giesbrecht (2014), quienes mediante la realización de una tarea de búsqueda visual ejecutada en diferentes momentos y, realizando una intervención a la capacidad aeróbica de los sujetos, encontraron que aquellos individuos que lograron un mejor estado físico, realizaron la tarea de búsqueda visual más rápidamente. Esta mejora en la capacidad de aprendizaje puede asociarse al aumento del tamaño del hipocampo y a un incremento en la perfusión del hipocampo cuando se realiza actividad aeróbica (Erickson et al., 2011).

Caso contrario ocurrió con los resultados de los tiempos de reacción. Estos tiempos aumentaron en promedio un 14,76% al realizar el pos-test. Sin embargo, guardan similitud con los reportados por Moore et al. (2012), quienes evidenciaron en el grupo de intervención, una considerable disminución del rendimiento al realizar tareas complejas, inmediatamente después de haber realizado actividad física de alta intensidad.

Finalmente, con el análisis de la varianzas se evidenció que existieron mejoras en los tiempos de aprendizaje, pero estos no fueron significativos; hallazgos que son similares a los reportados por Sexton et al. (2020). Esto se debe probablemente a que el tiempo de intervención fue breve. La existencia de una diferencia estadística significativa en los tiempos de reacción de los cuadrantes estímulo-respuesta, pudieran corresponder a la falta de descanso adecuado, el cual, influye en la realización de las tareas de percepción de acuerdo a lo hallado por Moore et al (2012).

## 6 Conclusiones

Los resultados del estudio no son significativos para demostrar el efecto positivo que puede tener el incremento de la AF en el aprendizaje dependiente del hipocampo; sin embargo, es de resaltar que al incrementar la actividad física de los sujetos, se evidenció una mejora en la capacidad de aprendizaje, contrastado con una disminución en la velocidad de procesamiento de la información. Esto último, afectó directamente el aprendizaje motor y cognitivo de los sujetos, dificultándoles oprimir las teclas en el tiempo indicado y acordes a la dirección del estímulo. La ralentización de las respuestas en cada una de las secuencias motoras presentadas en el post-test, se vio reflejado en un mayor tiempo de reacción.

Esta consecuencia es atribuible a la alta intensidad del ejercicio aeróbico realizado en la última sesión y al corto tiempo de recuperación otorgado a los sujetos antes de presentar el post-test. Esto corrobora la influencia de la fatiga inducida por el ejercicio en la función cognitiva.

Por otra parte, a partir de los resultados obtenidos se traza una guía orientativa bajo la cual se pueden plantear futuras investigaciones que permitan ahondar sobre el tema de los factores asociados al rendimiento académico; así como también, brindar a las instituciones educativas bases científicas que les permitan diseñar estrategias acordes a la realidad de sus educandos con el fin de seguir avanzando hacia la excelencia académica, la cual desde la perspectiva del autor de esta investigación, debe ser la premisa de quienes se desempeñan en el ámbito educativo.

Por último, se concluye que las estrategias enfocadas a promover la actividad física entre los estudiantes, se deben realizar dentro de patrones controlables que eviten generarle una fatiga inducida por el ejercicio, la cual puede dificultar los procesos cognitivos, motores y atencionales, necesarios en el proceso académico.

## 7 Recomendaciones

Se recomienda para futuras investigaciones la aplicación de protocolos de actividad física, condición y ejercicio físico con un control estricto de variables a nivel fisiológico, bioquímico y cognitivo en la medida de suprimir esa profunda brecha de relación entre la actividad física, el aprendizaje o la cognición en general.

A lo largo del tiempo ha sido sistemáticamente irrelevante, un sesgo producto de la falta de información reflejado en las últimas décadas al incorporar dichas intervenciones al entorno educativo las cuales adquieren un carácter de distensión y recreación, muy lejos de las disciplinas consideradas generadores de aprendizajes significativos.

Los resultados de esta investigación pueden ser empleados en cualquier espacio académico coherente que tenga como objeto la mejora del aprendizaje y tareas cognitivas, en función de la actividad física, adaptando el contexto de implementación y monitoreando de cerca la intensidad acorde al desempeño fisiológico de los participantes, con el fin de optimizar una serie de tareas asociadas al hipocampo. Desde otra perspectiva, no solo es suficiente implementar protocolos de ejercicio físico sino modificar estructuralmente la organización de las cátedras deportivas como espacios no de aprovechamiento del tiempo libre, sino espacios de ocio que contribuyan al mejoramiento de los condicionantes físicos, específicamente la resistencia aeróbica.

Finalmente, es relevante para otros estudios el aumento de la muestra objeto de estudio, pues influye significativamente en los resultados a obtener, al igual que implementar un grupo control para contrastar las intervenciones y hallar otros postulados científicos que permitan enriquecer el ejercicio mismo de la investigación.

**Referencias bibliográficas**

Abut, F., Akay, M. F., & George, J. (2016). Developing new VO<sub>2</sub>max prediction models from maximal, submaximal and questionnaire variables using support vector machines combined with feature selection. *Computers in biology and medicine*, 79, 182-192.

Aguirre, E. E., & Granados, S. (2015). The deterioration of spatial memory and the role of the masticatory function during aging: A brief literature review. *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*, 1177-1185.

Alves, A. R., Marta, C. C., Neiva, H. P., Izquierdo, M., & Marques, M. C. (2016). Concurrent training in prepubescent children: the effects of 8 weeks of strength and aerobic training on explosive strength and VO<sub>2</sub>max. *Journal of strength and conditioning research*, 30(7), 2019-2032

Anacker, C., & Hen, R. (2017). Adult hippocampal neurogenesis and cognitive flexibility—linking memory and mood. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(6), 335-346.

Astorino, T. A., Edmunds, R. M., Clark, A., King, L., Gallant, R. A., Namm, S., ... & Wood, K. M. (2017). High-intensity interval training increases cardiac output and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc*, 49(2), 265-273.

Auer, S. K., Salin, K., Anderson, G. J., & Metcalfe, N. B. (2015). Aerobic scope explains individual variation in feeding capacity. *Biology letters*, 11(11), 20150793.

Baker, S. R. (2004). Intrinsic, extrinsic, and motivational orientations: Their role in university adjustment, stress, well-being, and subsequent academic performance. *Current Psychology*, 23(3), 189-202.

Banks, L., Wells, G. D., Clarizia, N. A., Jean-St-Michel, E., McKillop, A. L., Redington, A. N., & McCrindle, B. W. (2016). Short-term remote ischemic preconditioning is not associated with improved blood pressure and exercise capacity in young adults. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *41*(8), 903-906.

Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., & Dalleck, L. C. (2016). Graded exercise testing protocols for the determination of VO<sub>2</sub>max: historical perspectives, progress, and future considerations. *Journal of sports medicine*, 2016.

Berchtold, N. C., Castello, N., & Cotman, C. W. (2010). Exercise and time-dependent benefits to learning and memory. *Neuroscience*, *167*(3), 588-597.

Besnard, A., & Sahay, A. (2016). Adult hippocampal neurogenesis, fear generalization, and stress. *Neuropsychopharmacology*, *41*(1), 24-44.

Bhat, S. A., & Shaw, D. (2017). Development of norms of maximal oxygen uptake (VO<sub>2</sub> max.) as an indicator of aerobic fitness of high altitude male youth of Kashmir. *Basketball*, *18*(30), 40-60.

Bliss, T. V., Collingridge, G. L., Kaang, B. K., & Zhuo, M. (2016). Synaptic plasticity in the anterior cingulate cortex in acute and chronic pain. *Nature Reviews Neuroscience*, *17*(8), 485.

Boland, D. M., Uijtdehaage, S., FitzGerald, L., Macey, P., Dolezal, B. A., Garfinkel, A., & Cooper, C. B. (2016). Correlation of aerobic fitness with academic performance in medical and nursing students. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(5), 103.

Brickson, S., Watson, A., Haraldsdottir, K., Coutinho, C., & Eldridge, M. (2016). Arteriovenous Oxygen Difference is a Stronger Predictor of Aerobic Fitness than Stroke Volume in Female Youth Athletes: 1582 Board# 235 June 2, 900 AM-1030 AM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *48*(5S), 434.



Brocherie, F., Girard, O., Faiss, R., & Millet, G. P. (2017). Effects of repeated-sprint training in hypoxia on sea-level performance: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 47(8), 1651-1660.

Buckworth, J., & Nigg, C. (2004). Physical activity, exercise, and sedentary behavior in college students. *Journal of American college health*, 53(1), 28-34.

Bullock, T., & Giesbrecht, B. (2014). Acute exercise and aerobic fitness influence selective attention during visual search. *Frontiers in Psychology*, 5, 1290.

Cameron, H. A., & Glover, L. R. (2015). Adult neurogenesis: beyond learning and memory. *Annual review of psychology*, 66, 53-81.

Canugovi, C., Stevenson, M. D., Lozhkin, A., Vendrov, A. E., Hayami, T., Koch, L. G., ... & Runge, M. S. (2019). Low Intrinsic Aerobic Capacity Promotes Vascular Dysfunction In Aging. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 39(Suppl\_1), A212-A212.

Carvalho, L. P., Basso-Vanelli, R. P., Di Thommazo-Luporini, L., Mendes, R. G., Oliveira-Junior, M. C., de Paula Vieira, R., ... & Borghi-Silva, A. (2018). Myostatin and adipokines: The role of the metabolically unhealthy obese phenotype in muscle function and aerobic capacity in young adults. *Cytokine*, 107, 118-124.

Casassus, J. (2002). Problemas de la gestión educativa en América Latina: la tensión entre los paradigmas de tipo A y el tipo B. *Em Aberto*, 19(75).

Cattaneo, A., Macchi, F., Plazzotta, G., Veronica, B., Bocchio-Chiavetto, L., Riva, M. A., & Pariante, C. M. (2015). Inflammation and neuronal plasticity: a link between childhood trauma and depression pathogenesis. *Frontiers in cellular neuroscience*, 9, 40.

Cauli, B., Tong, X. K., Rancillac, A., Serluca, N., Lambolez, B., Rossier, J., & Hamel, E. (2004). Cortical GABA interneurons in neurovascular coupling: relays for subcortical vasoactive pathways. *Journal of Neuroscience*, *24*(41), 8940-8949.

Chamorro-Premuzic, T., & Furnham, A. (2003). Personality predicts academic performance: Evidence from two longitudinal university samples. *Journal of research in personality*, *37*(4), 319-338.

Carmichael, S. T. (2016). Emergent properties of neural repair: elemental biology to therapeutic concepts. *Annals of neurology*, *79*(6), 895-906.

Chatzisarantis, N. L., & Hagger, M. S. (2007). Mindfulness and the intention-behavior relationship within the theory of planned behavior. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *33*(5), 663-676.

Chen, H., Inuma, M., Onozuka, M., & Kubo, K. Y. (2015). Chewing maintains hippocampus-dependent cognitive function. *International Journal of Medical Sciences*, *12*(6), 502.

Chéreau, R., Saraceno, G. E., Angibaud, J., Cattaert, D., & Nägerl, U. V. (2017). Superresolution imaging reveals activity-dependent plasticity of axon morphology linked to changes in action potential conduction velocity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(6), 1401-1406.

Claros, J. A. V., Álvarez, C. V., Cuellar, C. S., & Mora, M. L. A. (2015). Actividad física: estrategia de promoción de la salud. *Hacia la Promoción de la Salud*, *16*(1), 202-218.

Cocks, M., Shaw, C. S., Shepherd, S. O., Fisher, J. P., Ranasinghe, A., Barker, T. A., & Wagenmakers, A. J. (2016). Sprint interval and moderate-intensity continuous training have equal benefits on aerobic capacity, insulin sensitivity, muscle capillarisation and endothelial. *The Journal of physiology*, *594*(8), 2307-2321.

Cordner, Z. A., & Tamashiro, K. L. (2015). Effects of high-fat diet exposure on learning & memory. *Physiology & behavior*, *152*, 363-371.

Crespo, C. J., Keteyian, S. J., Heath, G. W., & Sempos, C. T. (1996). Leisure-time physical activity among US adults: results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Archives of internal medicine*, *156*(1), 93-98.

De la Espriella Guerrero, R. A., Rodriguez, V., Rincón, C. J., Cabrera Morales, D., Pérez Rodríguez, S. J., & Gómez-Restrepo, C. (2016). Consumo de alcohol en la población colombiana. Encuesta Nacional de Salud Mental 2015. *Revista colombiana de Psiquiatría*, *45*, 76-88.

Deliens, T., Deforche, B., De Bourdeaudhuij, I., & Clarys, P. (2015). Determinants of physical activity and sedentary behaviour in university students: a qualitative study using focus group discussions. *BMC public health*, *15*(1), 1-9.

DiPiro, N. D., Embry, A. E., Fritz, S. L., Middleton, A., Krause, J. S., & Gregory, C. M. (2016). Effects of aerobic exercise training on fitness and walking-related outcomes in ambulatory individuals with chronic incomplete spinal cord injury. *Spinal cord*, *54*(9), 675-681.

Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., ... & Szabo-Reed, A. N. (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: a systematic review. *Medicine and science in sports and exercise*, *48*(6), 1197.

Duarte-Guterman, P., Yagi, S., Chow, C., & Galea, L. A. (2015). Hippocampal learning, memory, and neurogenesis: effects of sex and estrogens across the lifespan in adults. *Hormones and behavior*, *74*, 37-52.

Egawa, J., Pearn, M. L., Lemkuil, B. P., Patel, P. M., & Head, B. P. (2016). Membrane lipid rafts and neurobiology: age-related changes in membrane lipids and loss of neuronal function. *The Journal of physiology*, *594*(16), 4565-4579.

Eichenbaum, H. (2017). The role of the hippocampus in navigation is memory. *Journal of neurophysiology*, *117*(4), 1785-1796.

Elliott, A. D., Rajopadhyaya, K., Bentley, D. J., Beltrame, J. F., & Aromataris, E. C. (2015). Interval training versus continuous exercise in patients with coronary artery disease: a meta-analysis. *Heart, Lung and Circulation*, *24*(2), 149-157.

Epp, J. R., Mera, R. S., Köhler, S., Josselyn, S. A., & Frankland, P. W. (2016). Neurogenesis-mediated forgetting minimizes proactive interference. *Nature communications*, *7*(1), 1-8.

Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., ... & Wojcicki, T. R. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(7), 3017-3022.

Ekelund, U., Steene-Johannessen, J., Brown, W. J., Fagerland, M. W., Owen, N., Powell, K. E., ... & Lancet Sedentary Behaviour Working Group. (2016). Does physical activity attenuate, or even eliminate, the detrimental association of sitting time with mortality? A harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women. *The Lancet*, *388*(10051), 1302-1310.

Ekstrom, A. D., & Ranganath, C. (2018). Space, time, and episodic memory: The hippocampus is all over the cognitive map. *Hippocampus*, 28(9), 680-687.

Faigenbaum, A. D., Kang, J., Farrell, A., Ratamess, N. A., Golda, S., Stranieri, A., ... & Bush, J. A. (2017). Metabolic Cost of Battling Rope Exercise in Children: 3750 Board# 197 June 3 800 AM-930 AM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(5S), 1078.

Faoro, V., Kevin, F., Zhou, N., & Dereppe, H. (2018). Bariatric Surgery Reduces Aerobic Exercise Capacity. In A67. *Pulmonary rehabilitation in non-copd and lung transplantation* (pp. A2179-A2179). American Thoracic Society.

Fenollar, P., Román, S., & Cuestas, P. J. (2007). University students' academic performance: An integrative conceptual framework and empirical analysis. *British Journal of Educational Psychology*, 77(4), 873-891.

Filosa, J. A., Bonev, A. D., & Nelson, M. T. (2004). Calcium dynamics in cortical astrocytes and arterioles during neurovascular coupling. *Circulation research*, 95(10), e73-e81.

Firth, J., Cotter, J., Elliott, R., French, P., & Yung, A. R. (2015). A systematic review and meta-analysis of exercise interventions in schizophrenia patients. *Psychol Med*, 45(7), 1343-1361.

Florence, M. D., Asbridge, M., & Veugelers, P. J. (2008). Diet quality and academic performance. *Journal of school health*, 78(4), 209-215.

Frick, K. M., Kim, J., Tuscher, J. J., & Fortress, A. M. (2015). Sex steroid hormones matter for learning and memory: estrogenic regulation of hippocampal function in male and female rodents. *Learning & Memory*, 22(9), 472-493.

Frisén, J. (2016). Neurogenesis and gliogenesis in nervous system plasticity and repair. *Annual review of cell and developmental biology*, 32, 127-141.

Froyd, C., Beltrami, F. G., Millet, G. Y., & Noakes, T. D. (2016). Central regulation and neuromuscular fatigue during exercise of different durations. *Med Sci Sports Exerc*, *48*(6), 1024-1032.

Fuentes-Navarro, R. (2003). *La investigación académica sobre comunicación en México: sistematización documental 1995–2001*. ITESO.

Furrow, D., Buschmann, C., Childress, J., Harris, M., & Aron, A. (2017). The Effects Of Varying Levels Of Cossfit Experience On VO2max: 3371 Board# 276 June 2 330 PM-500 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *49*(5S), 965.

Gao, A., Xia, F., Guskjolen, A. J., Ramsaran, A. I., Santoro, A., Josselyn, S. A., & Frankland, P. W. (2018). Elevation of hippocampal neurogenesis induces a temporally graded pattern of forgetting of contextual fear memories. *Journal of Neuroscience*, *38*(13), 3190-3198.

Garthe, A., Roeder, I., & Kempermann, G. (2016). Mice in an enriched environment learn more flexibly because of adult hippocampal neurogenesis. *Hippocampus*, *26*(2), 261-271.

Girardeau, G., Inema, I., & Buzsáki, G. (2017). Reactivations of emotional memory in the hippocampus–amygdala system during sleep. *Nature neuroscience*, *20*(11), 1634.

Girouard, H., & Iadecola, C. (2006). Neurovascular coupling in the normal brain and in hypertension, stroke, and Alzheimer disease. *Journal of applied physiology*, *100*(1), 328-335.

Goldfarb, E. V., Mendeleevich, Y., & Phelps, E. A. (2017). Acute stress time-dependently modulates multiple memory systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *29*(11), 1877-1894.

Goldfarb, E. V., Shields, G. S., Daw, N. D., Slavich, G. M., & Phelps, E. A. (2017). Low lifetime stress exposure is associated with reduced stimulus–response memory. *Learning & Memory*, *24*(4), 162-168.

Gomes-Neto, M., Saquetto, M. B., e Silva, C. M. D. S., Conceicao, C. S., & Carvalho, V. O. (2016). Impact of exercise training in aerobic capacity and pulmonary function in children and adolescents after congenital heart disease surgery: a systematic review with meta-analysis. *Pediatric cardiology*, *37*(2), 217-224.

Gonçalves, J. T., Schafer, S. T., & Gage, F. H. (2016). Adult neurogenesis in the hippocampus: from stem cells to behavior. *Cell*, *167*(4), 897-914.

Gray, C., Gibbons, R., Larouche, R., Sandseter, E. B. H., Bienenstock, A., Brussoni, M., ... & Power, M. (2015). What is the relationship between outdoor time and physical activity, sedentary behaviour, and physical fitness in children? A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, *12*(6), 6455-6474

Habibi, E., Mombeini, M., Ordudari, Z., Noorouzi, H., Yadegarfar, G., & Koolivand, Z. (2018). Association between Maximum Aerobic Power and General Health in Women. *Archives of Occupational Health*, *2*(3), 148-155.

Hadiyan, H., & Cosh, S. (2019). Level of Physical and Motor Fitness Post Retirement and Maintenance of Athletic Identity Within Active Retired Athletes. *Journal of Loss and Trauma*, *24*(1), 84-95.

Halder, R., Hennion, M., Vidal, R. O., Shomroni, O., Rahman, R. U., Rajput, A., ... & Schuetz, A. L. (2016). DNA methylation changes in plasticity genes accompany the formation and maintenance of memory. *Nature neuroscience*, *19*(1), 102-110.

Hassevoort, K. M., Khan, N. A., Hillman, C. H., & Cohen, N. J. (2016). Childhood markers of health behavior relate to hippocampal health, memory, and academic performance. *Mind, Brain, and Education*, *10*(3), 162-170.

Haydon, P. G., & Carmignoto, G. (2006). Astrocyte control of synaptic transmission and neurovascular coupling. *Physiological reviews*, 86(3), 1009-1031.

He, H. Y., Shen, W., Hiramoto, M., & Cline, H. T. (2016). Experience-dependent bimodal plasticity of inhibitory neurons in early development. *Neuron*, 90(6), 1203-1214.

Henson, J., Yates, T., Biddle, S. J., Edwardson, C. L., Khunti, K., Wilmot, E. G., ... & Davies, M. J. (2013). Associations of objectively measured sedentary behaviour and physical activity with markers of cardiometabolic health. *Diabetologia*, 56(5), 1012-1020.

Inoue, K., Hanaoka, Y., Nishijima, T., Okamoto, M., Chang, H., Saito, T., & Soya, H. (2015). Long-term mild exercise training enhances hippocampus-dependent memory in rats. *International Journal of Sports Medicine*, 36(04), 280-285.

Jaakkola, T., Yli-Piipari, S., Huotari, P., Watt, A., & Liukkonen, J. (2016). Fundamental movement skills and physical fitness as predictors of physical activity: A 6-year follow-up study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(1), 74-81.

Jiang, P., Li, G., Zhou, X., Wang, C., Qiao, Y., Liao, D., & Shi, D. (2019). Chronic fluoride exposure induces neuronal apoptosis and impairs neurogenesis and synaptic plasticity: role of GSK-3 $\beta$ / $\beta$ -catenin pathway. *Chemosphere*, 214, 430-435.

Jung, M. E., Bray, S. R., & Ginis, K. A. M. (2008). Behavior change and the freshman 15: tracking physical activity and dietary patterns in 1st-year university women. *Journal of American College Health*, 56(5), 523-530.

Junqué, C., & Jódar, M. (1990). Velocidad de procesamiento cognitivo en el envejecimiento. *Anales de Psicología/Annals of Psychology*, 6(2), 199-207.



Justo, L. A., Barrero-Santalla, S., Martín-Hernández, J., Santiago-Pescador, S., Ortega, A., Baladrón, C., & Santos-Lozano, A. (2019). El papel del ejercicio aeróbico en la prevención y manejo de la fibrilación auricular. ¿Amigo o enemigo?. *Arch. med. deporte*, 43-49.

Karatrantou, K., Gerodimos, V., Häkkinen, K., & Zafeiridis, A. (2017). Health-promoting effects of serial vs. integrated combined strength and aerobic training. *International journal of sports medicine*, 38(01), 55-64.

Kempermann, G., Gage, F. H., Aigner, L., Song, H., Curtis, M. A., Thuret, S., ... & Gould, E. (2018). Human adult neurogenesis: evidence and remaining questions. *Cell stem cell*, 23(1), 25-30.

Knowles, A. M., Herbert, P., Easton, C., Sculthorpe, N., & Grace, F. M. (2015). Impact of low-volume, high-intensity interval training on maximal aerobic capacity, health-related quality of life and motivation to exercise in ageing men. *Age*, 37(2), 25.

Koga, K., Liu, M. G., Qiu, S., Song, Q., O'Den, G., Chen, T., & Zhuo, M. (2015). Impaired presynaptic long-term potentiation in the anterior cingulate cortex of Fmr1 knock-out mice. *Journal of Neuroscience*, 35(5), 2033-2043.

Konopka, A. R., Castor, W. M., Laurin, J. L., Wolff, C. A., Hamilton, K. L., & Miller, B. F. (2017). Skeletal Muscle Mitochondrial and Whole-Body Metabolic Performance After an Ultra Endurance Mountain Bike Race: 2921 June 2 1: 45 PM-2: 00 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(5S), 838.

Kreutzmann, J. C., Havekes, R., Abel, T., & Meerlo, P. (2015). Sleep deprivation and hippocampal vulnerability: changes in neuronal plasticity, neurogenesis and cognitive function. *Neuroscience*, 309, 173-190.

Krieger, E. M., Da SILVA, G. J. J., & Negrão, C. E. (2001). Effects of exercise training on baroreflex control of the cardiovascular system. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 940(1), 338-347.

Kutlu, M. G., & Gould, T. J. (2015). Nicotinic receptors, memory, and hippocampus. In *The Neurobiology and Genetics of Nicotine and Tobacco* (pp. 137-163). Springer, Cham.

Langeskov-Christensen, M., Heine, M., Kwakkel, G., & Dalgas, U. (2015). Aerobic capacity in persons with multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(6), 905-923.

Lazarov, O., & Hollands, C. (2016). Hippocampal neurogenesis: learning to remember. *Progress in neurobiology*, 138, 1-18.

Lee, A. G., Capanzana, R., Brockhurst, J., Cheng, M. Y., Buckmaster, C. L., Absher, D., ... & Lyons, D. M. (2016). Learning to cope with stress modulates anterior cingulate cortex stargazin expression in monkeys and mice. *Neurobiology of learning and memory*, 131, 95-100.

Lee, E. J., & Lundstrom, C. J. (2018). Aging, Maximal Aerobic Capacity, and Running Economy in Trained Distance Runners: 1514 Board# 1 May 31 100 PM-300 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(5S), 364.

Leybaert, L. (2005). Neurobarrier coupling in the brain: a partner of neurovascular and neurometabolic coupling? *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 25(1), 2-16.

Lieberwirth, C., Pan, Y., Liu, Y., Zhang, Z., & Wang, Z. (2016). Hippocampal adult neurogenesis: Its regulation and potential role in spatial learning and memory. *Brain research*, 1644, 127-140.

Lim, C. S., Nam, H. J., Lee, J., Kim, D., Choi, J. E., Kang, S. J., ... & Kim, S. (2017). PKC $\alpha$ -mediated phosphorylation of LSD1 is required for presynaptic plasticity and hippocampal learning and memory. *Scientific reports*, 7(1), 1-15.

Liou, K., Ho, S., Fildes, J., & Ooi, S. Y. (2016). High intensity interval versus moderate intensity continuous training in patients with coronary artery disease: a meta-analysis of physiological and clinical parameters. *Heart, Lung and Circulation*, 25(2), 166-174.

Lisman, J., Buzsáki, G., Eichenbaum, H., Nadel, L., Ranganath, C., & Redish, A. D. (2017). Viewpoints: how the hippocampus contributes to memory, navigation and cognition. *Nature neuroscience*, 20(11), 1434-1447.

Loprinzi, P. D., Edwards, M. K., & Frith, E. (2017). Potential avenues for exercise to activate episodic memory-related pathways: a narrative review. *European Journal of Neuroscience*, 46(5), 2067-2077.

Loprinzi, P. D., & Kane, C. J. (2015). Exercise and cognitive function: a randomized controlled trial examining acute exercise and free-living physical activity and sedentary effects. In *Mayo Clinic Proceedings* (Vol. 90, No. 4, pp. 450-460).

Lundby, C., Montero, D., & Joyner, M. (2017). Biology of VO<sub>2</sub>max: looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica*, 220 (2), 218-228.

Maass, A., Düzel, S., Goerke, M., Becke, A., Sobieray, U., Neumann, K., ... & Ahrens, D. (2015). Vascular hippocampal plasticity after aerobic exercise in older adults. *Molecular psychiatry*, 20(5), 585-593.

Macauley, T. R., Fisher, B. E., & Schroeder, E. T. (2020). Potential Indirect Mechanisms of Cognitive Enhancement After Long-Term Resistance Training in Older Adults. *Physical Therapy*. Volume 100, Issue 6, June 2020, Pages 907–916

Maguire, E. A., Intraub, H., & Mullally, S. L. (2016). Scenes, spaces, and memory traces: what does the hippocampus do? *The Neuroscientist*, 22(5), 432-439.

Manson, J. E., Nathan, D. M., Krolewski, A. S., Stampfer, M. J., Willett, W. C., & Hennekens, C. H. (1992). A prospective study of exercise and incidence of diabetes among US male physicians. *Jama*, 268(1), 63-67.

Marqués, M. D. L. L., & Osses, S. (2014). Neurociencia y educación: una nueva dimensión en el proceso educativo. *Revista médica de Chile*, 142(6), 805-806.

Mattson, M. P., & Wan, R. (2005). Beneficial effects of intermittent fasting and caloric restriction on the cardiovascular and cerebrovascular systems. *The Journal of nutritional biochemistry*, 16(3), 129-137.

McAuley, E., Morris, K. S., Motl, R. W., Hu, L., Konopack, J. F., & Elavsky, S. (2007). Long-term follow-up of physical activity behavior in older adults. *Health Psychology*, 26(3), 375.

McDonald, A. J., & Mott, D. D. (2017). Functional neuroanatomy of amygdalohippocampal interconnections and their role in learning and memory. *Journal of neuroscience research*, 95(3), 797-820.

Meseguer, C. M., Galán, I., Herruzo, R., Zorrilla, B., & Rodríguez-Artalejo, F. (2009). Actividad física de tiempo libre en un país mediterráneo del sur de Europa: adherencia a las recomendaciones y factores asociados. *Revista española de cardiología*, 62(10), 1125-1133.

Meta, M. R., & Newman, E. A. (2006). Glial cells dilate and constrict blood vessels: a mechanism of neurovascular coupling. *Journal of Neuroscience*, 26(11), 2862-2870.

Mohanty, C. B., Bhat, D., & Indira Devi, B. (2015). Role of central plasticity in the outcome of peripheral nerve regeneration. *Neurosurgery*, 77(3), 418-423. }

Montes, J., Wulf, G., & Navalta, J. W. (2017). Maximal aerobic capacity can be increased by enhancing performers' expectancies. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 58(5), 744-749.

Moon, H. Y., Becke, A., Berron, D., Becker, B., Sah, N., Benoni, G., ... & Duzel, E. (2016). Running-induced systemic cathepsin B secretion is associated with memory function. *Cell metabolism*, 24 (2), 332-340.

Moore, R. D., Romine, M. W., O'connor, P. J., & Tomporowski, P. D. (2012). The influence of exercise-induced fatigue on cognitive function. *Journal of sports sciences*, 30(9), 841-850.

Moran, J., Guinan, E., McCormick, P., Larkin, J., Mockler, D., Hussey, J., ... & Wilson, F. (2016). The ability of prehabilitation to influence postoperative outcome after intra-abdominal operation: a systematic review and meta-analysis. *Surgery*, 160(5), 1189-1201.

Moscovitch, M., Cabeza, R., Winocur, G., & Nadel, L. (2016). Episodic memory and beyond: the hippocampus and neocortex in transformation. *Annual review of psychology*, 67, 105-134.

Mueller, P. J. (2007). Exercise training and sympathetic nervous system activity: evidence for physical activity dependent neural plasticity. *Clinical and experimental pharmacology and physiology*, 34(4), 377-384.

Muenz, T. S., Groh, C., Maisonnasse, A., Le Conte, Y., Plettner, E., & Rössler, W. (2015). Neuronal plasticity in the mushroom body calyx during adult maturation in the honeybee and possible pheromonal influences. *Developmental Neurobiology*, 75(12), 1368-1384.

Myers, J., McAuley, P., Lavie, C. J., Despres, J. P., Arena, R., & Kokkinos, P. (2015). Physical activity and cardiorespiratory fitness as major markers of cardiovascular risk: their independent and interwoven importance to health status. *Progress in cardiovascular diseases*, 57(4), 306-314.

Nelson, M. C., & Gordon-Larsen, P. (2006). Physical activity and sedentary behavior patterns are associated with selected adolescent health risk behaviors. *Pediatrics*, 117(4), 1281-1290.

Okamoto, S. I., & Lipton, S. A. (2015). S-Nitrosylation in neurogenesis and neuronal development. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1850(8), 1588-1593.

Orozco-Solis, R., Montellier, E., Aguilar-Arnal, L., Sato, S., Vawter, M. P., Bunney, B. G., ... & Sassone-Corsi, P. (2017). A circadian genomic signature common to ketamine and sleep deprivation in the anterior cingulate cortex. *Biological psychiatry*, 82(5), 351-360.

Parihar, V. K., Pasha, J., Tran, K. K., Craver, B. M., Acharya, M. M., & Limoli, C. L. (2015). Persistent changes in neuronal structure and synaptic plasticity caused by proton irradiation. *Brain Structure and Function*, 220(2), 1161-1171.

Patterson, J., Hanzel, O., Shryack, G., Willoughby, C., & Smith, B. (2018). Comparison of Two Heart Rate Technologies to Predict VO2Max: 2763 Board# 46 June 1 200 PM-330 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(5S), 674.

Pedersen, S., Martinson, B., Nyberg, H., Nyberg, S. K., Hoff, J., & Helgerud, J. (2017). Head-down Tilt High Aerobic Intensity Training Effect On Vo2max and Stroke Volume Adaptations: 1025 Board# 204 May 31 200 PM-330 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(5S), 278.

Perea, M. V., García, R., Cañas, M., & Ladera, V. (2019). Velocidad de procesamiento de la información en la enfermedad de Alzheimer. *Revista chilena de neuro-psiquiatría*, 57(3), 228-237.

Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., ... & Small, S. A. (2007). An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(13), 5638-5643.

Pernía, J. A. C., & Andrés, Ó. D. C. (2010). La valoración del VO<sub>2</sub> máx. y su relación con el riesgo cardiovascular como medio de enseñanza-aprendizaje. *Cuadernos de psicología del deporte*, 10(2).

Peterson, C., & Barrett, L. C. (1987). Explanatory style and academic performance among university freshman. *Journal of personality and social psychology*, 53(3), 603.

Petsakou, A., Sapsis, T. P., & Blau, J. (2015). Circadian rhythms in Rho1 activity regulate neuronal plasticity and network hierarchy. *Cell*, 162(4), 823-835.

Piercy, K. L., Troiano, R. P., Ballard, R. M., Carlson, S. A., Fulton, J. E., Galuska, D. A., ... & Olson, R. D. (2018). The physical activity guidelines for Americans. *Jama*, 320(19), 2020-2028.

Poole, D. C., & Jones, A. M. (2017). Measurement of the maximum oxygen uptake VO<sub>2</sub>max: VO<sub>2</sub>peak is no longer acceptable. *Journal of applied physiology*, 122(4), 997-1002.

Ragland, J. D., Layher, E., Hannula, D. E., Niendam, T. A., Lesh, T. A., Solomon, M., ... & Ranganath, C. (2017). Impact of schizophrenia on anterior and posterior hippocampus during memory for complex scenes. *NeuroImage: Clinical*, 13, 82-88.

Rei, D., Mason, X., Seo, J., Gräff, J., Rudenko, A., Wang, J., ... & Mungenast, A. E. (2015). Basolateral amygdala bidirectionally modulates stress-induced hippocampal learning and memory deficits through a p25/Cdk5-dependent pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(23), 7291-7296.

Kizil, C. (2018). Mechanisms of pathology-induced neural stem cell plasticity and neural regeneration in adult zebrafish brain. *Current pathobiology reports*, 6(1), 71-77.

Rendeiro, C., & Rhodes, J. S. (2018). A new perspective of the hippocampus in the origin of exercise–brain interactions. *Brain Structure and Function*, 223(6), 2527-2545.

Rey, E., Padrón-Cabo, A., Barcala-Furelos, R., & Mecías-Calvo, M. (2016). Effect of high and low flexibility levels on physical fitness and neuromuscular properties in professional soccer players. *International journal of sports medicine*, 37(11), 878-883.

Richardson, M., Abraham, C., & Bond, R. (2012). Psychological correlates of university students' academic performance: a systematic review and meta-analysis. *Psychological bulletin*, 138(2), 353.

Rimm, E. B., Ascherio, A., Giovannucci, E., Spiegelman, D., Stampfer, M. J., & Willett, W. C. (1996). Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men. *Jama*, 275(6), 447-451.

Rodríguez, A. N., García, A. R. R., & Minguet, J. L. C. (2020). Los ambientes de aprendizaje como metodología activa promotora de la actividad física en Educación Infantil: un estudio de caso. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (37), 498-504.



Rooney, S., Wood, L., Moffat, F., & Paul, L. (2019). Is fatigue associated with aerobic capacity and muscle strength in people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *100*(11), 2193-2204.

Rosero Pahi, M., Cavalli, J., Nees, F., Flor, H., & Andoh, J. (2020). Disruption of the Prefrontal Cortex Improves Implicit Contextual Memory-Guided Attention: Combined Behavioral and Electrophysiological Evidence. *Cerebral Cortex*, *30*(1), 20-30.

Scalzo, R. L., Moreau, K. L., Ozemek, C., Herlache, L., McMillin, S., Gilligan, S., ... & Regensteiner, J. G. (2017). Exenatide improves diastolic function and attenuates arterial stiffness but does not alter exercise capacity in individuals with type 2 diabetes. *Journal of diabetes and its complications*, *31*(2), 449-455.

Schlichting, M. L., & Preston, A. R. (2016). Hippocampal–medial prefrontal circuit supports memory updating during learning and post-encoding rest. *Neurobiology of learning and memory*, *134*, 91-106.

Schurman, L. D., Carper, M. C., Moncayo, L. V., Ogasawara, D., Richardson, K., Yu, L., ... & Lichtman, A. H. (2019). Diacylglycerol lipase- $\alpha$  regulates hippocampal-dependent learning and memory processes in mice. *Journal of Neuroscience*, *39*(30), 5949-5965.

Segi-Nishida, E. (2017). The effect of serotonin-targeting antidepressants on neurogenesis and neuronal maturation of the hippocampus mediated via 5-HT<sub>1A</sub> and 5-HT<sub>4</sub> receptors. *Frontiers in cellular neuroscience*, *11*, 142.

Serrano, S. L., Manzano, S. S., Ariza, A. R., & López, E. J. M. (2017). *Exergames: Videojuegos activos para la promoción de la Actividad Física y el desarrollo cognitivo en Educación Primaria y Secundaria*. Wanceulen Editorial

Sexton, C. E., Betts, J. F., Dennis, A., Doherty, A., Leeson, P., Holloway, C., ... & Dawes, H. (2020). The effects of an aerobic training intervention on cognition, grey matter volumes and white matter microstructure. *Physiology & Behavior*, *223*, 112923.

Sheard, M. (2009). Hardiness commitment, gender, and age differentiate university academic performance. *British Journal of Educational Psychology*, *79*(1), 189-204.

Shin, H. K., Dunn, A. K., Jones, P. B., Boas, D. A., Moskowitz, M. A., & Ayata, C. (2006). Vasoconstrictive neurovascular coupling during focal ischemic depolarizations. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, *26*(8), 1018-1030.

Singh, B., Krishnan, A., Micu, I., Koshy, K., Singh, V., Martinez, J. A., ... & Syed, N. (2015). Peripheral neuron plasticity is enhanced by brief electrical stimulation and overrides attenuated regrowth in experimental diabetes. *Neurobiology of disease*, *83*, 134-151.

Schmit, C., & Brisswalter, J. (2020). Executive functioning during prolonged **exercise**: a fatigue-based neurocognitive perspective. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *13*(1), 21-39.

Sominsky, L., De Luca, S., & Spencer, S. J. (2018). Microglia: key players in neurodevelopment and neuronal plasticity. *The international journal of biochemistry & cell biology*, *94*, 56-60.

Song, Q., Zheng, H. W., Li, X. H., Haganir, R. L., Kuner, T., Zhuo, M., & Chen, T. (2017). Selective phosphorylation of AMPA receptor contributes to the network of long-term potentiation in the anterior cingulate cortex. *Journal of Neuroscience*, *37*(35), 8534-8548.

Songsorn, P., Lambeth-Mansell, A., Mair, J. L., Haggett, M., Fitzpatrick, B. L., Ruffino, J., ... & Vollaard, N. B. J. (2016). Exercise training comprising of single 20-s cycle sprints does not provide a sufficient stimulus for improving maximal aerobic capacity in sedentary individuals. *European journal of applied physiology*, *116*(8), 1511-1517.

Souza, R. W., Alves, C. R., Medeiros, A., Rolim, N., Silva, G. J., Moreira, J. B., ... & Sharma, A. (2018). Differential regulation of cysteine oxidative post-translational modifications in high and low aerobic capacity. *Scientific reports*, *8*(1), 1-13.

Steptoe, A., Wardle, J., Fuller, R., Holte, A., Justo, J., Sanderman, R., & Wichstrøm, L. (1997). Leisure-time physical exercise: prevalence, attitudinal correlates, and behavioral correlates among young Europeans from 21 countries. *Preventive medicine*, *26*(6), 845-854.

Suwabe, K., Hyodo, K., Byun, K., Ochi, G., Yassa, M. A., & Soya, H. (2017). Acute moderate exercise improves mnemonic discrimination in young adults. *Hippocampus*, *27*(3), 229-234.

Tashiro, S., Nakamura, M., & Okano, H. (2017). The prospects of regenerative medicine combined with rehabilitative approaches for chronic spinal cord injury animal models. *Neural regeneration research*, *12*(1), 43.

Tedeschi, A., Dupraz, S., Laskowski, C. J., Xue, J., Ulas, T., Beyer, M., ... & Bradke, F. (2016). The calcium channel subunit Alpha2delta2 suppresses axon regeneration in the adult CNS. *Neuron*, *92*(2), 419-434.

Timofeev, I., & Chauvette, S. (2017). Sleep slow oscillation and plasticity. *Current opinion in neurobiology*, *44*, 116-126.

Toda, T., & Gage, F. H. (2018). adult neurogenesis contributes to hippocampal plasticity. *Cell and tissue research*, *373*(3), 693-709.

Toledo, F. G., Dubé, J. J., Goodpaster, B. H., Stefanovic-Racic, M., Coen, P. M., & DeLany, J. P. (2018). Mitochondrial respiration is associated with lower energy expenditure and lower aerobic capacity in African American women. *Obesity, 26*(5), 903-909.

Trueman, M., & Hartley, J. (1996). A comparison between the time-management skills and academic performance of mature and traditional-entry university students. *Higher education, 32*(2), 199-215.

Tsuda, M., Koga, K., Chen, T., & Zhuo, M. (2017). Neuronal and microglial mechanisms for neuropathic pain in the spinal dorsal horn and anterior cingulate cortex. *Journal of neurochemistry, 141*(4), 486-498.

Varela, M. T., Duarte, C., Salazar, I. C., Lema, L. F., & Tamayo, J. A. (2011). Actividad física y sedentarismo en jóvenes universitarios de Colombia: prácticas, motivos y recursos para realizarlas. *Colombia médica, 42*(3), 269-277.

Vancampfort, D., Firth, J., Schuch, F. B., Rosenbaum, S., Mugisha, J., Hallgren, M., ... & Carvalho, A. F. (2017). Sedentary behavior and physical activity levels in people with schizophrenia, bipolar disorder and major depressive disorder: a global systematic review and meta-analysis. *World Psychiatry, 16*(3), 308-315.

Van Dongen, E. V., Kersten, I. H., Wagner, I. C., Morris, R. G., & Fernández, G. (2016). Physical exercise performed four hours after learning improves memory retention and increases hippocampal pattern similarity during retrieval. *Current Biology, 26*(13), 1722-1727.

Vikmoen, O., Ellefsen, S., Trøen, Ø., Hollan, I., Hanestadhaugen, M., Raastad, T., & Rønnestad, B. R. (2016). Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO<sub>2</sub>max and cycling economy in female cyclists. *Scandinavian journal of Medicine & Science in sports, 26*(4), 384-396.

Vogel, S., Fernández, G., Joëls, M., & Schwabe, L. (2016). Cognitive adaptation under stress: a case for the mineralocorticoid receptor. *Trends in cognitive sciences*, 20(3), 192-203.

Voss, M. W., Soto, C., Yoo, S., Sodomá, M., Vivar, C., & van Praag, H. (2019). Exercise and Hippocampal Memory Systems. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(4), 318–333.

Vromen, T., Kraal, J. J., Kuiper, J., Spee, R. F., Peek, N., & Kemps, H. M. (2016). The influence of training characteristics on the effect of aerobic exercise training in patients with chronic heart failure: a meta-regression analysis. *International journal of cardiology*, 208, 120-127.

van Waart, H., Stuiver, M. M., van Harten, W. H., Geleijn, E., Kieffer, J. M., Buffart, L. M., ... & Meerum Terwogt, J. M. (2015). Effect of low-intensity physical activity and moderate-to high-intensity physical exercise during adjuvant chemotherapy on physical fitness, fatigue, and chemotherapy completion rates: results of the PACES randomized clinical trial. *J Clin Oncol*, 33(17), 1918-27.

Wåhlin, A., & Nyberg, L. (2019). At the heart of cognitive functioning in aging. *Trends in cognitive sciences*, 23(9), 717-720.

Wallace, L. S., Buckworth, J., Kirby, T. E., & Sherman, W. M. (2000). Characteristics of exercise behavior among college students: application of social cognitive theory to predicting stage of change. *Preventive medicine*, 31(5), 494-505.

Wang, X. (2012). Academic performance of community college transfers: Psychological, sociodemographic, and educational correlates. *Community College Journal of Research and Practice*, 36(11), 872-883.

- Whiteman, A. S., Young, D. E., Budson, A. E., Stern, C. E., & Schon, K. (2016). Entorhinal volume, aerobic fitness, and recognition memory in healthy young adults: A voxel-based morphometry study. *Neuroimage*, *126*, 229-238.
- Wu, Y., Dissing-Olesen, L., MacVicar, B. A., & Stevens, B. (2015). Microglia: dynamic mediators of synapse development and plasticity. *Trends in immunology*, *36*(10), 605-613.
- Xenophontos, S., Wilkinson, T. J., Gould, D. W., Watson, E. L., Viana, J. L., & Smith, A. C. (2019). Peak aerobic capacity from incremental shuttle walk test in chronic kidney disease. *Journal of renal care*, *45*(3), 185-192.
- Yeh, H. P., Stone, J. A., Churchill, S. M., Brymer, E., & Davids, K. (2017). Physical and emotional benefits of different exercise environments designed for treadmill running. *International journal of environmental research and public health*, *14*(7), 752.
- Yen, I. H., & Kaplan, G. A. (1998). Poverty area residence and changes in physical activity level: evidence from the Alameda County Study. *American Journal of Public Health*, *88*(11), 1709-1712.
- Wing Kwan, M. Y., Bray, S. R., & Martin Ginis, K. A. (2009). Predicting physical activity of first-year university students: An application of the theory of planned behavior. *Journal of American College Health*, *58*(1), 45-55.
- Yokota, T., Kinugawa, S., Hirabayashi, K., Suga, T., Takada, S., Omokawa, M., ... & Yamato, M. (2017). Pioglitazone improves whole-body aerobic capacity and skeletal muscle energy metabolism in patients with metabolic syndrome. *Journal of diabetes investigation*, *8*(4), 535-541.
- Zeidman, P., & Maguire, E. A. (2016). Anterior hippocampus: the anatomy of perception, imagination, and episodic memory. *Nature Reviews Neuroscience*, *17*(3), 173-182.

Apéndices

Apéndice A. Cuestionario GPAQ

# Cuestionario Mundial sobre Actividad Física (GPAQ)



Departamento de Enfermedades crónicas y Promoción de la Salud  
Vigilancia y Prevención basada en la población  
Organización Mundial de la Salud  
20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza  
Para más información: [www.who.int/chp/steps](http://www.who.int/chp/steps)



<b>Actividad física</b>			
A continuación voy a preguntarle por el tiempo que pasa realizando diferentes tipos de actividad física. Le ruego que intente contestar a las preguntas aunque no se considere una persona activa.			
Piense primero en el tiempo que pasa en el trabajo, que se trate de un empleo remunerado o no, de estudiar, de mantener su casa, de cosechar, de pescar, de cazar o de buscar trabajo [inserte otros ejemplos si es necesario]. En estas preguntas, las "actividades físicas intensas" se refieren a aquéllas que implican un esfuerzo físico importante y que causan una gran aceleración de la respiración o del ritmo cardíaco. Por otra parte, las "actividades físicas de intensidad moderada" son aquéllas que implican un esfuerzo físico moderado y causan una ligera aceleración de la respiración o del ritmo cardíaco.			
Pregunta	Respuesta		Código
<b>En el trabajo</b>			
49	¿Exige su trabajo una actividad física intensa que implica una aceleración importante de la respiración o del ritmo cardíaco, como [levantar pesos, cavar o trabajos de construcción] durante al menos 10 minutos consecutivos? (INSERTAR EJEMPLOS Y UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMÁGENES)	Si 1 No 2 Si No, Saltar a P 4	P1
50	En una semana típica, ¿cuántos días realiza usted actividades físicas intensas en su trabajo?	Número de días <input type="text"/>	P2
51	En uno de esos días en los que realiza actividades físicas intensas, ¿cuánto tiempo suele dedicar a esas actividades?	Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P3 (a-b)
52	¿Exige su trabajo una actividad de intensidad moderada que implica una ligera aceleración de la respiración o del ritmo cardíaco, como caminar deprisa [o transportar pesos ligeros] durante al menos 10 minutos consecutivos? (INSERTAR EJEMPLOS Y UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMÁGENES)	Si 1 No 2 Si No, Saltar a P7	P4
53	En una semana típica, ¿cuántos días realiza usted actividades de intensidad moderada en su trabajo?	Número de días <input type="text"/>	P5
54	En uno de esos días en los que realiza actividades físicas de intensidad moderada, ¿cuánto tiempo suele dedicar a esas actividades?	Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P6 (a-b)
<b>Para desplazarse</b>			
En las siguientes preguntas, dejaremos de lado las actividades físicas en el trabajo, de las que ya hemos tratado. Ahora me gustaría saber cómo se desplaza de un sitio a otro. Por ejemplo, cómo va al trabajo, de compras, al mercado, al lugar de culto [insertar otros ejemplos si es necesario]			
55	¿Camina usted o usa usted una bicicleta al menos 10 minutos consecutivos en sus desplazamientos?	Si 1 No 2 Si No, Saltar a P 10	P7
56	En una semana típica, ¿cuántos días camina o va en bicicleta al menos 10 minutos consecutivos en sus desplazamientos?	Número de días <input type="text"/>	P8
57	En un día típico, ¿cuánto tiempo pasa caminando o yendo en bicicleta para desplazarse?	Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P9 (a-b)
<b>En el tiempo libre</b>			
Las preguntas que van a continuación excluyen la actividad física en el trabajo y para desplazarse, que ya hemos mencionado. Ahora me gustaría tratar de deportes, fitness u otras actividades físicas que practica en su tiempo libre [inserte otros ejemplos si llega el caso].			
58	¿En su tiempo libre, practica usted deportes/fitness intensos que implican una aceleración importante de la respiración o del ritmo cardíaco como [correr, jugar al fútbol] durante al menos 10 minutos consecutivos? (INSERTAR EJEMPLOS Y UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMÁGENES)	Si 1 No 2 Si No, Saltar a P 13	P10
59	En una semana típica, ¿cuántos días practica usted deportes/fitness intensos en su tiempo libre?	Número de días <input type="text"/>	P11
60	En uno de esos días en los que practica deportes/fitness intensos, ¿cuánto tiempo suele dedicar a esas actividades?	Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P12 (a-b)



<b>SECCIÓN PRINCIPAL: Actividad física (en el tiempo libre) sigue.</b>			
<b>Pregunta</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Código</b>	
61	<p>¿En su tiempo libre practica usted alguna actividad de intensidad moderada que implica una ligera aceleración de la respiración o del ritmo cardíaco, como caminar deprisa, [ir en bicicleta, nadar, jugar al volleyball] durante al menos 10 minutos consecutivos? (INSERTAR EJEMPLOS Y UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMÁGENES)</p>	<p>Sí 1</p> <p>No 2 Si No, Saltar a P16</p>	P13
62	En una semana típica, ¿cuántos días practica usted actividades físicas de intensidad moderada en su tiempo libre?	Número de días <input type="text"/>	P14
63	En uno de esos días en los que practica actividades físicas de intensidad moderada, ¿cuánto tiempo suele dedicar a esas actividades?	<p>Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>hrs mins</p>	P15 (a-b)
<b>Comportamiento sedentario</b>			
<p>La siguiente pregunta se refiere al tiempo que suele pasar sentado o recostado en el trabajo, en casa, en los desplazamientos o con sus amigos. Se incluye el tiempo pasado [ante una mesa de trabajo, sentado con los amigos, viajando en autobús o en tren, jugando a las cartas o viendo la televisión], pero no se incluye el tiempo pasado durmiendo. (INSERTAR EJEMPLOS) (UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMÁGENES)</p>			
64	¿Cuánto tiempo suele pasar sentado o recostado en un día típico?	<p>Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>hrs mins</p>	P16 (a-b)

**Apéndice B. Cuestionario PAR-Q**

## CUESTIONARIO PAR – Q

Para poder aumentar el nivel de actividad física o realizar esfuerzo físico mayor del que habitualmente realiza en su vida diaria, es recomendable que responda las siguientes siete preguntas (SI o NO) en forma responsable y consciente. Luego, siga las instrucciones que se dan al final del cuestionario.

Fecha:	Si	No
¿Alguna vez el médico le ha dicho que Ud. tiene un problema cardíaco y que por eso sólo debería realizar actividad física recomendada por él?		
¿Cuándo hace actividad física siente dolor en el pecho?		
¿En el último mes y estando en reposo, ha sentido dolor en el pecho?		
¿Pierde el equilibrio por mareos o vértigo, o alguna vez ha perdido el conocimiento?		
¿Tiene un problema óseo o articular que pudiera empeorar por un aumento en su actividad física habitual?		
¿Actualmente el médico le está prescribiendo medicamentos (por ejemplo diuréticos) para su presión arterial o para su corazón?		
¿Conoce <u>alguna otra razón</u> por la cual no debería hacer actividad física?		

Si respondió SI a al menos una de las preguntas, debe consultar al médico (de su EPS, IPS, ARS; ARP, Caja de Previsión o medicina prepagada) para que él decida si la actividad física que piensa realizar es segura para su salud. Si respondió NO a todas las preguntas, puede empezar a realizar más actividad física de la que habitualmente hace, lo cual será seguro para su salud siempre y cuando lo realice de manera progresiva.

(Continuación cuestionario PAR-Q)

Yo, \_\_\_\_\_, con mi firma CERTIFICO que he leído y comprendido completa y correctamente el cuestionario y mis respuestas son ciertas y apegadas a la verdad.

Fecha: \_\_\_\_\_

**Apéndice C. Consentimiento informado****DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**

<b>Nombre del Estudio:</b>	Incremento de la actividad física y su efecto en el aprendizaje dependiente del hipocampo en estudiantes de cultura física, deporte y recreación de la Universidad Santo Tomas, seccional Bucaramanga, Colombia
<b>Fuente Financiamiento</b>	Universidad Autónoma de Bucaramanga
<b>Investigador Responsable:</b>	ELIMINADO PARA EVALUACIÓN 3225160627 e-mail: jalmarales@unab.edu.co
<b>Dpto./UDA</b>	Facultad de Ciencias Sociales, Humanidades y Artes

---

El propósito de esta información es ayudarle a tomar la decisión de participar -o no-, en una investigación. Tome el tiempo que requiera para decidirse, lea cuidadosamente este documento y hágale las preguntas que desee al personal de estudio.

**OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

Determinar si el incremento de la actividad física ejerce un efecto positivo en el aprendizaje dependiente del hipocampo.

**PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN:**

La toma de los datos se desarrollará con los estudiantes y en las aulas de algunas Universidades en donde se oriente carreras relacionados a la Cultura física, deporte y recreación de Colombia. Se solicitará información de datos sociodemográficos, del estados de salud (cuestionario PAR-Q) y de los hábitos de actividad física en el tiempo libre (cuestionario G-PAQ).

.

A partir de los resultados obtenidos se realizará una estimación sobre el efecto del ejercicio físico y el desempeño en el aprendizaje dependiente del hipocampo en estudiantes de la facultad de cultura física, deporte y recreación de la universidad Santo Tomas, seccional Bucaramanga. Los resultados de la investigación serán socializados en eventos académicos y ante los cuerpos colegiados de las universidades.

**BENEFICIOS:**

Como resultado de la evaluación realizada, los cuerpos colegiados podrán identificar estrategias con miras a mejorar el rendimiento académico de sus estudiantes, protocolos de ejercicio físico orientados al desarrollo académico, software de precisión para tabulaciones estadísticas y análisis de neurociencia. La información que se obtendrá a nivel general de todos los participantes será de utilidad para conocer las causas que influyen sobre el rendimiento académico.

**RIESGOS:**

Esta investigación no tiene riesgos para su salud. De acuerdo con la legislación colombiana se considera una investigación con riesgo mínimo

**COSTOS:**

Participar en esta investigación no generará ningún costo para usted.

**CONFIDENCIALIDAD DE LA INFORMACIÓN:**

La información suministrada por usted es de carácter confidencial y sólo tendrán acceso a ella los investigadores del estudio. Bajo ninguna circunstancia su identidad será revelada. Para ello la información será codificada de manera que su identificación y datos personales se mantengan reservada. Las bases de datos con la información obtenida se mantendrán en custodia de los investigadores. Los resultados obtenidos serán socializados con los directivos, docente y estudiantes de las universidades implicadas, también serán publicados en revistas científicas y presentados en conferencias nacionales o internacionales. Sin embargo, reiteramos, su identidad en ningún momento será conocida.

**VOLUNTARIEDAD:**

Su participación en esta investigación es completamente voluntaria. Usted puede decidir aceptar o no participar en la misma. Igualmente puede decidir retirarse del estudio en el momento que desee sin que esto tenga para usted ninguna implicación o retirar su consentimiento en el momento que lo desee.

**PREGUNTAS:**

Si tiene preguntas acerca de esta investigación o acerca de sus derechos como participante puede contactar a:

ELIMINADO PARA EVALUACIÓN

**DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO:**

- Se me ha explicado el propósito de esta investigación médica, los procedimientos, los riesgos, los beneficios y los derechos que me asisten y que me puedo retirar de ella en el momento que lo desee.
- Firmo este documento voluntariamente, sin ser forzado a hacerlo.
- No estoy renunciando a ningún derecho que me asista.
- Se me comunicará de toda nueva información relacionada con el estudio que surja durante el estudio y que pueda tener importancia directa para mi condición de salud.
- Se me ha informado que tengo el derecho a reevaluar mi participación en esta investigación médica según mi parecer y en cualquier momento que lo desee.
- Conozco que se protegerán mis datos personales y no serán divulgados, según la ley estatutaria 1581 de 2012 (octubre 17) reglamentada parcialmente por el decreto nacional 1377 de 2013.
- Al momento de la firma, se me entrega una copia firmada de este documento.

**Firmas**

Nombre del participante:

Firma

Fecha

Nombre del Investigador:

Firma

Fecha