



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE PSICOLOGÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

Influencia del ejercicio en la memoria de trabajo

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Licenciada en Psicología

P R E S E N T A :

Mariana Hernández Ladrón de Guevara

**Directora de Tesis: Dra. Selene Cansino Ortiz
visora de Tesis: Dra. María Dolores Rodríguez Ortiz
Sinodales: Dra. Martha Patricia Trejo Morales
Dra. Irma Yolanda Del Río Portilla
Dr. Julio Espinosa Rodríguez**



México D.F. 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*A esas personas valientes que han sacrificado una parte de su vida
para darnos la oportunidad de tener una familia:
Mamá Rosa, Papá David y tía Marisela*

Agradecimientos

Este trabajo recibió financiamiento del CONACYT (Proyecto 220409) y del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, Dirección General del Personal Académico, Universidad Nacional Autónoma de México (Proyecto ID300312, IG300115).

Agradecimientos

Mamá: me encantas, eres una persona muy amorosa y entregada, gracias por todas esas mañanas compartidas y todas esas tardes estudiando a mi lado.

Papá: gracias por aceptar el reto de volver a empezar de cero, por querernos y protegernos como tus hijas.

Tía: gracias por esta oportunidad para crecer como ser humano, gracias por tu sacrificio y amor.

Carlos: gracias por apoyar y amar a mi tía.

Mis hermanos: Ivonne, Iván y Abril

A pesar del tiempo, de la distancia, de los genes, logramos jugar como hermanos, extrañarnos como hermanos y amarnos como hermanos.

Gracias a la Dra. Selene por darme la oportunidad de ser parte de su equipo y ayudarme en la elaboración de esta tesis, por alentarme a concluir pronto para continuar con mi formación. Gracias por la grata experiencia en este laboratorio, no solo obtuve conocimiento, también grandes amistades.

Frine: gracias por toda la paciencia que nos has tenido, eres una persona muy cálida.

Miguel: tantas conversaciones tan graciosas y bobas, que hubiera sido del whats sin ti; todos los regaños que enviabas a los chicos nuevos.

Liuba: eres muy generosa y amable, me gusta ir a tus presentaciones.

Ada: gracias por regalarme tu comida, sabía muy rica como la de mi mamá.

Aidé: tu siempre contándonos tus pesares.

Cinthia: tu tan trabajadora, siempre te tenemos que recordar que es hora de comer.

Iván: gracias por confiar en mí, nos hiciste pasar momentos llenos de alegría.

David: al inicio eras serio, después descubrimos que te gusta el vino.

Paty: tan sabia y amable, muchas gracias por las correcciones.

Gracias a todos mis amigos y compañeros de calidad de vida, nunca olvidare nuestras jornadas buscando participantes, entrevistándolos, calificando cuestionarios, resolviendo dudas, regañando a los nuevos, todas las anécdotas que surgieron con este proyecto, espero nuestra amistad dure más que calidad de vida.

Gracias a mis entrenadores

Andrés Carachure, por mostrarme este maravilloso deporte.

Charlotte Braddley Reus, por alimentar el sueño, y enseñarme que vale más un deportista competente que uno competitivo.

Marco A. Monroy Moreno, por perfeccionar mi técnica y educarnos a cuidar nuestro cuerpo.

A todos esos amigos con los que he compartido la pista: Eva, tan linda, fuerte y ejemplo de deportista. Páriz, compartimos cancha, nunca corrimos juntos pero nos hacíamos compañía en las clases, eres un gran amigo. Martín, buen amigo con la virtud de la puntualidad, Miguel, tu siempre tan perezoso, me caes muy bien siempre estas cansado antes de empezar el entrenamiento. Juan Luis, fuiste quien me recibió y me recomendó a Monroy, gracias, también agradezco los masajes la verdad tienes buena mano, sigue practicando. Tonatiuh, “el rey Sol”, jamás olvidare tu traición a la UNAM, aun así reconozco que eres bueno corriendo, te aprecio. Emilio, siempre con tan alocados ejercicios. Rayo, como olvidar el día que te salve la vida (aun me debes \$10), también me encantan las

historias que inventas. Luis, nunca olvidare tu brazo dislocado y menos como sucedió jaja. Memo, compañero en pista y colega, espero estés en las mismas que yo.

Alfredo, éramos vecinos y nos conocimos en la prepa en la fila del examen médico, si no fuera por esa gran casualidad me hubiera perdido de esta amistad tan bonita.

Mario, al igual que yo has finalizado una carrera y con mucho éxito, me gusta ver en ti la sed de crecer, de ser mejor, te deseo éxito, eres una gran persona. Gracias.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, aquí tuve la oportunidad de expandir mis fronteras, ser algo más que estudiante, ser protagonista en un estadio, en un escenario, en la creación de conocimiento.

Índice

Resumen	9
1. Introducción	10
Capítulo 1	12
2. Memoria.....	12
2.1. Memoria de trabajo	13
2.2. Paradigmas de Memoria de trabajo.....	15
2.3. Declive de la memoria de trabajo	17
Capítulo 2	20
3 Ejercicio	20
3.1. Beneficios del ejercicio	22
3.2. Ejercicio en México.....	26
3.3. Ejercicio y memoria de trabajo	27
Capítulo 3	37
4. Justificación	37
Capítulo 4	38
5. Método.....	38
5.1. Planteamiento del problema	38
5.2. Objetivo	38
5.3. Hipótesis	38
5.4. Variables	39
5.5. Participantes	40
5.6. Instrumentos.....	41

5.7. Aparatos	42
5.8. Estímulos.....	43
5.9. Tarea de memoria de trabajo	43
5.10. Procedimiento	45
5.11. Análisis de datos.....	46
Capítulo 5	46
6. Resultados	46
Capítulo 7	50
7. Discusión	50
8. Conclusiones	58
9. Limitaciones y sugerencias.....	59
10. Referencias	60

Resumen

La memoria de trabajo se encarga de manipular y transformar la información que es almacenada por un corto período de tiempo. Sin embargo, este tipo de memoria sufre un grave deterioro a lo largo de la vida adulta. Con el propósito de encontrar acciones que disminuyan este deterioro, algunas investigaciones han evaluado, si realizar ejercicio físico mejora la ejecución en tareas de memoria de trabajo; sin embargo, los resultados han sido contradictorios. Además, estos estudios se han centrado en evaluar a adultos jóvenes (18-22 años de edad) o mayores (60 años de edad o más), a pesar de que en la edad media existe un alto índice de sedentarismo. El presente estudio tuvo por objetivo evaluar en una muestra de 100 adultos de edad media (41 a 59 años de edad) el efecto de realizar ejercicio físico en su desempeño en una tarea de memoria de trabajo *n*-back, en modalidad espacial y verbal, cada una en dos niveles de complejidad. Las personas que reportaron realizar ejercicio aeróbico al menos tres veces a la semana, mínimo una hora por sesión, tuvieron un mayor porcentaje de respuestas correctas en las tareas de memoria de trabajo verbal y espacial de alta complejidad que las personas que no realizaban ejercicio. Los hallazgos sugieren que realizar ejercicio físico de manera regular durante la edad media beneficia los procesos de memoria de trabajo que demandan mayores recursos cognitivos pero no los procesos de memoria de trabajo que no exigen gran esfuerzo.

Palabras clave: Memoria de trabajo, *n*-back, ejercicio físico, edad media.

1. Introducción

La memoria de trabajo se ve afectada a lo largo de la vida adulta (Park et al., 2002), incluso, se ha encontrado (Cansino et al., 2013) que las personas entre 31 y 40 años de edad tienen un mejor desempeño que las personas de entre 41 y 50 años de edad, lo que indica que el daño en la memoria de trabajo es continuo a lo largo de la vida adulta. Se ha reportado que las conductas saludables como una dieta nutritiva, no fumar y realizar ejercicio durante 30 minutos tres veces por semana, se relacionan con un menor riesgo de presentar demencia en la vejez (Small et al., 2013). Por ello, se han estudiado a poblaciones sanas para conocer el impacto del ejercicio en su memoria de trabajo, sin embargo, los resultados en cuanto a su beneficio son contradictorios (Hansen, Johnsen, Sollers, Stenvik, & Thayer, 2004; Nagamatsu et al., 2013). Por lo anterior, es importante establecer si realmente el ejercicio proporciona un beneficio, y si es así, conocer qué cantidad o tipo de ejercicio se tiene que realizar para ver reflejadas mejoras en la memoria de trabajo. Asimismo, es conveniente estudiar a las personas entre 41 y 59 años de edad debido a que se trata de un grupo poco estudiado, por lo que se desconoce si el ejercicio beneficia a los adultos de edad media. El objetivo de este estudio consiste en determinar si existen diferencias en la ejecución correcta y en los tiempos de reacción en tareas de memoria de trabajo espacial y verbal entre personas de 41 a 59 años de edad que realizan y que no realizan ejercicio físico.

En el primer capítulo se explica el modelo de memoria de trabajo propuesto por Baddeley y Hitch, algunos paradigmas para estudiar este tipo de memoria y los cambios que ocurren con la edad.

En el segundo capítulo, se define el ejercicio físico y se explica su diferencia de conceptos como actividad física y el deporte competitivo, asimismo, se describen los beneficios que aporta la práctica del ejercicio así como la incidencia de esta práctica en la población mexicana de edad media al final, se resumen las investigaciones que han relacionado al ejercicio físico con la memoria de trabajo en personas de edad media.

En el tercer capítulo se muestra la justificación de la presente investigación. En el cuarto capítulo se describe el método mientras que en el quinto capítulo se presentan los resultados. En el capítulo seis se discuten los resultados obtenidos y se comparan con la literatura revisada; finalmente, en el capítulo siete se presentan las conclusiones así como las limitaciones y sugerencias, respectivamente.

Capítulo 1

2. Memoria

La memoria se concibe como un sistema en el cual se almacena y recupera información que ha sido obtenida por medio de los sentidos, ésta puede durar desde segundos hasta toda una vida (Baddeley, 1999). Sternberg (2011) menciona tres etapas en el procesamiento de la memoria: codificación, almacenamiento y recuperación. En la codificación la información que se obtuvo a través de los sentidos se transforma para ser almacenada en la memoria, en el almacenamiento se retiene la información codificada por un plazo corto o largo de tiempo, mientras que la recuperación es el proceso mediante el cual tenemos acceso a la información almacenada.

Atkinson y Shiffrin (1968) propusieron un modelo de memoria con tres almacenes: el sensorial, a corto plazo y a largo plazo. En el almacén sensorial, la información ingresa principalmente por medio de los sentidos visual y auditivo. El almacén a corto plazo es limitado, tiende a decaer y a desaparecer si no se repasa, sin embargo, el tiempo que permanece es más prolongado que en el almacén sensorial. En el almacén a largo plazo, la información almacenada no decae de la misma forma, el contenido de este almacén se considera permanente, modificable y en ocasiones temporalmente irrecuperable por la interferencia que conlleva la entrada de nueva información.

En ocasiones el término memoria a corto plazo se intercambia por el de memoria de trabajo. Sin embargo, Baddeley (1981; 2012) distingue dos sistemas de memoria diferentes que retienen la información por un periodo corto de tiempo. La memoria a corto plazo es concebida como un almacén temporal, mientras que

la memoria de trabajo es una combinación de almacenamiento y manipulación de la información que se apoya en subsistemas, a diferencia de la memoria a corto plazo que es un sistema unitario (Baddeley, 1996).

2.1. Memoria de trabajo

Baddeley y Hitch, (1974) propusieron que la memoria de trabajo es un sistema de tres componentes, el ejecutivo central, el bucle fonológico y la agenda visoespacial; sin embargo, Baddeley en el 2000 (Baddeley, 2012) integró al modelo un componente más, el búfer episódico, el cual se explica más adelante.

El ejecutivo central selecciona y opera los procesos de control, coordina las actividades, los recursos de atención, el almacenamiento y la toma de decisiones, asimismo, se caracteriza por tener una capacidad limitada de procesamiento, por lo que se apoya en dos subsistemas: el bucle fonológico y la agenda visoespacial (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 1981, 2012). Las funciones del ejecutivo central probablemente dependen de los lóbulos frontales, específicamente del prefrontal dorsolateral y medial, así como de regiones parietales debido a que son regiones cerebrales complejas que podrían estar implicadas en los distintos procesos encargados del control ejecutivo (Baddeley, 1996; Nyberg, Forkstam, Petersson, Cabeza, & Ingvar, 2002).

El bucle fonológico mantiene por un periodo corto de tiempo la información de tipo verbal a través del habla interna o el repaso. Las huellas en la memoria creadas por la información verbal se mantienen de dos a tres segundos siempre y cuando se repase verbalmente. El sistema de ensayo o repaso consiste en una articulación subvocal, para mantener viva la huella de memoria hasta que

comience a aumentar la entrada de información y el primer elemento se desvanezca de la memoria antes de procesar el último elemento (Baddeley, 2012). Se han identificado (Jonides et al., 1993; Müller & Knight, 2006; Paulesu, Frith, & Frackowiak, 1993) regiones anatómicas para el almacén fonológico en el área perisilviana del lóbulo izquierdo, mientras que el área de Broca parece ser responsable del repaso o articulación subvocal, sin embargo, el almacén fonológico no requiere la participación de regiones aisladas, sino que incluye una red compleja de regiones prefrontales anteriores y parietales inferiores.

La agenda viso-espacial conserva por un lapso breve imágenes e información espacial a través de la visualización mental de esta información (Baddeley, 1981). Jonides et al. (1993) utilizaron la técnica de Tomografía por Emisión de Positrones (por sus siglas en PET) y detectaron cuatro áreas activadas en el lóbulo derecho al realizar una tarea *n*-back: la corteza occipital, que está relacionada con la creación de imágenes; la corteza parietal, que se activa cuando se requiere localizar un objeto; la corteza frontal, encargada del almacenamiento y retención de la información que se está recibiendo; y la corteza premotora, (no se había reportado antes esta activación), pero que los autores relacionan con el momento de dar la respuesta y con la agenda viso espacial.

El último componente, el búfer episódico, es el responsable de ligar la información de diferentes sistemas, como la percepción, la memoria de trabajo y la memoria a largo plazo, lo que proporciona sentido a la información que recibimos.

Su función es la de resolver problemas y revalorar experiencias previas (episodios con dimensión temporal) con un acontecimiento más reciente (Baddeley, 2012; Sternberg, 2011).

2.2. Paradigmas de Memoria de trabajo

Una de las tareas de lápiz y papel más ampliamente utilizadas para evaluar la memoria de trabajo es la de Regresión de Dígitos. La tarea consiste en decir una secuencia de números (e.g., 4,7,6) y pedirle al participante que la repita de forma inversa (e.g., 6,7,4); las secuencias pueden ser de hasta nueve dígitos, la tarea se suspende después de que el participante falla dos veces consecutivas en una secuencia con el mismo número de dígitos (Alves et al., 2014; Park et al., 2002).

La tarea *n*-back es una tarea que en la actualidad generalmente se presenta de manera computarizada, aunque en su versión original no lo era (Kirchner, 1958). En esta tarea se muestra a los participantes un estímulo que debe comparar con el presentado uno, dos, tres o más ensayos atrás. La complejidad de la tarea se incrementa sustancialmente entre más atrás se encuentre el estímulo con el que se debe comparar el estímulo actual debido a la interferencia de los estímulos que ocupan posiciones intermedias. Esta tarea se ha implementado para evaluar tanto la memoria de trabajo verbal como espacial. En la modalidad espacial, generalmente se presentan estímulos en distintas posiciones de la pantalla y el participante debe comparar si la posición del estímulo actual es igual o no al estímulo presentado *n* veces atrás según el nivel de complejidad que se esté evaluando. En la modalidad verbal, generalmente se emplean letras, dígitos o

palabras y el participante indica si el estímulo es igual o no al presentado n veces atrás (Cansino et al., 2013; McEvoy, Pellouchoud & Smith, 2001)

Otra tarea empleada para evaluar la memoria de trabajo visuoespacial es la de *Line span* (Morrel & Park, 1993 citado en Park et al., 2002). Esta tarea computarizada se presenta en secuencias de hasta seis ensayos. En cada ensayo se muestran dos imágenes irregulares en posiciones elegidas al azar y una línea horizontal, vertical o diagonal. Los participantes deben indicar si las figuras son idénticas o no en cada ensayo. Al término de la secuencia la pantalla se mantiene en blanco y los participantes deben reproducir la posición y orientación de las líneas que vieron en toda la secuencia de ensayos.

La tarea *letter rotation* (Park et al., 2002) también se lleva a cabo en computadora, en ella se presentan de dos a cinco letras de manera simultánea con diferente orientación (45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315°) con respecto a una línea vertical. La tarea de los participantes consiste en indicar si las letras se encuentran en posición normal o invertida. Después de cinco ensayos con el mismo número de letras, los participantes deben reproducir las letras en la orientación en la que fueron presentadas en una hoja de respuestas.

Una de las tareas más utilizadas para evaluar la memoria de trabajo verbal es la de *Reading span* o *Computational span* (Salthouse y Babcock, 1991, citado en Park et al., 2002). La tarea consiste en leer en voz alta oraciones que son presentadas en la computadora (e.g., “el chef prepara el postre para la cena”) y enseguida responder a la pregunta asociada a la oración (e.g., “¿qué prepara el chef?” a. peces, b. postre, c. ensalada). Al final de una secuencia de oraciones

cuyo número se incrementa, los participantes deben escribir en una hoja la última palabra de cada oración. En una variante de esta tarea (Park et al., 2002) se presentan problemas matemáticos que los participantes deben leer en voz alta (e.g., “5 - 3”), en la pantalla de la computadora también aparecen tres posibles respuestas (e.g., a.2, b.1, c.9) para que los participantes proporcionen el resultado del problema aritmético. Al final de una secuencia de ensayos cuyo número se incrementa gradualmente, los participantes deben anotar en una hoja el último número de cada problema.

2.3. Declive de la memoria de trabajo

La eficiencia de la memoria de trabajo cambia continuamente a lo largo de la vida (Cansino et al., 2013; Park et al., 2002). Los problemas de memoria afectan al 50% de las personas mayores de 65 años, y aproximadamente un 7.5% de las personas de esta edad padecen demencia (Small et al., 2013). La memoria se concibe como una condición necesaria para desarrollar una vida independiente, de ahí el interés por conocer su proceso de deterioro (Pérez-Martínez, 2005). También es importante conocer las actividades o hábitos de las personas en edades más tempranas, como en la edad media, que puedan actuar como protectores para mitigar el inevitable deterioro de la memoria conforme avanza la edad.

Entre los estudios que han evaluado la memoria de trabajo en un rango amplio de la edad adulta, sobresale el realizado por Park et al. (2002), en este estudio participaron 345 personas con edades entre los 20 y 92 años. La muestra se organizó por décadas de los 20 a los 80 años y las personas de más de 90 años

se incluyeron en la década de 80 años, aproximadamente, cada década tenía entre 48 y 57 adultos. Los autores evaluaron la memoria de trabajo verbal y visuoespacial, para la primera usaron las tareas de *reading span* y *computational span*, y para la segunda, las tareas de *letter rotation* y *line span*. Los resultados de este estudio mostraron que el declive de la memoria asociado a la edad es continuo a lo largo de la vida adulta y que no existe una aceleración de este declive en la edad tardía. Del mismo modo, la velocidad de procesamiento de la información disminuyó conforme aumentaba la edad. En las tareas de memoria de trabajo visuoespacial y verbal se encontró que los participantes de mayor edad cometían más errores que los participantes jóvenes.

Cansino et al., (2013) realizaron un estudio con 1500 personas entre 21 y 80 años de edad, en cada una de las décadas contenidas en este rango de edad participaron 250 personas. En el estudio se evaluó la memoria de trabajo verbal y visuoespacial con tareas *n-back*, en dos niveles de complejidad. En los resultados se reporta que durante seis décadas (a partir de la década de los 20s) el desempeño medido a través del porcentaje de respuestas correctas fue mayor en las tareas de 1-back en comparación con las tareas de 2-back. En la tarea 1-back los individuos de la segunda década de la vida (21 a 30 años) superaron en ejecución a los mayores de 51 años, y los de la tercera década (31 a 40 años) fueron superiores a los mayores de 61 años, mientras que los de la cuarta década (41 a 50 años) presentaron un mayor desempeño que los de la séptima década (71 a 80 años). En la tarea 2-back, el desempeño difirió significativamente entre las primeras tres décadas, y las personas de la cuarta década (41 a 50 años)

tuvieron un mejor desempeño que las personas mayores de 61 años, también fueron superiores los individuos de la quinta década (51 a 60 años) que los adultos mayores de 71 años de edad. En las tareas de memoria de trabajo verbal la ejecución se ve disminuida a partir de la tercera década (31-40 años). En la tarea de memoria de trabajo verbal 1-back la disminución en la ejecución es diferente para ambos sexos. En las mujeres la primera diferencia significativa es entre la segunda década (21-30 años) y la cuarta década (41-50 años); en cambio, para los hombres ésta es entre la segunda década de la vida y después de los 71 años de edad. En la tarea de memoria de trabajo verbal 2-back se observó que ambos sexos tuvieron un mejor desempeño en la segunda década con respecto a las personas mayores de 31 años de edad.

Otro estudio de relevancia, es el realizado por Singh-Manoux et al. (2012) debido al tamaño de su muestra, en este estudio longitudinal participaron 4675 personas. Todos los participantes eran funcionarios públicos de un banco, y fueron evaluados al inicio entre las edades de 35 a 55 años. El estudio se realizó en nueve fases, en la primera (1985) se realizaron estudios clínicos con el fin de detectar enfermedades metabólicas o cardiovasculares, también se realizó un estudio antropométrico. Entre las funciones cognitivas que fueron evaluadas se encuentran la memoria verbal a corto plazo, el razonamiento matemático, la fluidez verbal y el vocabulario. Estas evaluaciones se llevaron a cabo en las fases 5 (1997), 7 (2002) y 9 (2007). Los autores encontraron que el rendimiento promedio en las tareas disminuyó significativamente entre los 45 y 70 años de edad, excepto en la prueba de vocabulario; sin embargo, en esta prueba los

efectos negativos fueron mayores para las mujeres, resultado que fue atribuido por los autores a las diferencias educativas entre hombres y mujeres.

Capítulo 2

3 Ejercicio

Los términos actividad física, deporte y ejercicio físico pueden parecer los mismos y ser usados de forma indistinta, sin embargo, ya han sido definidos de manera más específica (Caspersen, Powell & Christenson, 1985). La actividad física es todo movimiento corporal realizado por los músculos y articulaciones y que supone un gasto de energía. El ejercicio físico es una subcategoría de la actividad física pues comparten el movimiento corporal, sin embargo, difiere de la actividad física por el hecho de que el ejercicio físico se realiza de forma planeada, ordenada, repetida y deliberada buscando un mayor gasto de energía, mientras que en la actividad física se intenta ser eficiente para lograr un menor gasto de energía. Por último, el deporte tiene las características del ejercicio físico, pero además implica competitividad, sometimiento a reglas, organización e institucionalización.

Las actividades físicas se han clasificado en aeróbica, anaeróbica y fuerza (Alves et al., 2014; Dustman et al., 1984; Guiney & Machado, 2012; Powell, Paluch, & Blair, 2011; Voss, Vivar, Kramer, & van Praag, 2013).

La actividad aeróbica utiliza grandes grupos musculares de forma repetitiva y rítmica, este ritmo suele mantenerse durante varios minutos y con una intensidad de ligera a moderada. El oxígeno es fundamental para obtener energía mientras se realizan este tipo de actividades, asimismo, se ha observado que este ejercicio

mejora la eficiencia y capacidad cardiorrespiratoria. Algunos ejemplos de actividades aeróbicas son carreras largas como el maratón, pruebas de natación de fondo y ciclismo de carrera (Boraita, 2004). La actividad anaeróbica requiere de sistemas que superan la capacidad cardiorrespiratoria para distribuir el oxígeno por el cuerpo, por lo que la producción de energía no requiere oxígeno ya que la energía proviene de adenosintrifosfato y de la fosfocreatina. Estos ejercicios son de muy corta duración y de alta intensidad; algunos ejercicios son las pruebas cortas del atletismo como 50 m o 400 m (Boraita, 2004). La actividad de fuerza se refiere al ejercicio que mejora la fuerza, potencia, resistencia y el tamaño de los músculos.

Con el fin de obtener medidas más objetivas de la actividad física, algunos autores (Bielak, Cherbuin, Bunce, & Anstey, 2014; Lo, Woodman, Pachana, Byrne, & Sachdev, 2014) han intentado clasificar este tipo de actividad o ejercicio físico según su intensidad en inactivo, ligera (e.g., caminar), moderada (e.g., danza, ciclismo) y vigorosa (e.g., correr, squash). También se han hecho (Lo et al., 2014) escalas tipo Likert donde uno es moverse para lo necesario y seis es practicar ejercicio vigoroso y competitivo.

Otro método que se ha empleado para conocer la intensidad del ejercicio físico o la condición física de una persona es el VO_{2MAX} , procedimiento mediante el cual se mide el consumo de oxígeno total del cuerpo, en otras palabras, la máxima cantidad de oxígeno que puede ser transportada y utilizada durante actividades aeróbicas; es decir, se trata de una medición del consumo de oxígeno del sistema muscular y no del consumo de oxígeno por parte del cerebro (Dustman et al.,

1984; McMorris, Sproule, Turner, & Hale, 2011; Powell et al., 2011; Voss et al., 2013).

La medida del equivalente metabólico (MET) se emplea para estimar el gasto de energía en múltiplos (Bielak et al., 2014; Powell et al., 2011). Esta unidad de medida sustituye a las kilocalorías porque tiene la ventaja de que no es necesario conocer el peso corporal, ya que las personas que realicen la misma actividad gastarán la misma cantidad de MET, independientemente de su peso (Powell et al., 2011). La forma en que se clasifica la intensidad del ejercicio físico realizado en METs es como sigue: ≤ 1.5 METs es actividad sedentaria, de 1.6 a 2.9 METs es actividad de intensidad ligera, entre 3 y 5.9 METs es actividad de intensidad moderada y ≥ 6 METs se considera como actividad vigorosa. Para la escala en METs la intensidad ligera equivale a un tercio de la vigorosa, y la actividad de intensidad moderada equivale a la mitad de la vigorosa.

Otros indicadores de la intensidad de la actividad física son la frecuencia cardíaca, el porcentaje de la respuesta cardíaca máxima, el porcentaje de reserva de la frecuencia cardíaca (McMorris et al., 2011) y la reserva del ritmo cardíaco (Alves et al., 2014).

3.1. Beneficios del ejercicio

La práctica de alguna actividad física en adultos de 50 años de edad se ha asociado a un menor riesgo de padecer demencia (Hötting & Röder, 2013), enfermedad de Parkinson o enfermedad de Alzheimer (Dishman et al., 2006) en edades más avanzadas. En estos estudios, se ha reportado que la práctica del ejercicio físico beneficia funciones cognitivas como la atención visual y espacial, la

velocidad de procesamiento (Hötting & Röder, 2013), y las funciones que requieren mayor control ejecutivo como la planificación, supervisión y coordinación de tareas (Dishman et al., 2006), se han visto beneficiadas por la práctica del ejercicio físico. Hötting & Röder, (2013) proponen que distintos tipos de ejercicio podrían impactar a diferentes funciones cognitivas debido a que cada uno de ellos podría tener efectos diferenciales en los procesos neuronales. Los investigadores observaron que cuando se aumenta la actividad física se incrementa la expresión de neurotrofinas en ratas y en humanos, como es el caso del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF). Este factor se encuentra involucrado en la capacidad de aprendizaje durante la plasticidad sináptica. En particular, los sistemas moleculares (e.g., CREB, sinapsina I, calcio calmodulina y quinasa II) son vulnerables al ejercicio físico, por lo que se ha sugerido (Dishman et al., 2006) que éste podría modular la plasticidad sináptica que subyace al aprendizaje y la memoria. El ejercicio físico también aumenta los niveles de oxígeno en el organismo, el cual es necesario para el metabolismo de la glucosa a nivel celular, y para la generación de neurotransmisores, esenciales para llevar a cabo funciones cognitivas (Dustman et al., 1984).

Los beneficios del ejercicio físico se observan si éste se practica por lo menos de 150 a 300 minutos por semana (Powell et al., 2011). La actividad física que se practique debe ser de tipo aeróbica de intensidad moderada, aunque si es de intensidad vigorosa pueden ser suficientes 75 minutos a la semana. Las actividades aeróbicas son beneficiosas para el sistema nervioso debido a que causan cambios en el sistema cardiovascular, como el aumento del volumen

sistólico y de la densidad capilar, lo que mejora la capacidad y eficiencia del suministro de oxígeno y glucosa en los tejidos. El ejercicio físico también mejora los sistemas celulares que liberan energía para realizar el movimiento. Las actividades como el levantamiento de pesas y el *Balance-training* tienen un menor impacto en el sistema cardiovascular (Powell et al., 2011).

Una forma de medir la cantidad de actividad física acumulada en un período determinado es a través del volumen, el cual por lo general se expresa en el gasto de energía, como kilocalorías a la semana o METs a la semana. Las mediciones que permiten determinar el volumen son la duración, la frecuencia y la intensidad de la actividad física. Al practicar alguna actividad se recomienda (Powell et al., 2011) que ésta se realice de 20 a 30 minutos con una frecuencia mayor a tres veces por semana y a una intensidad de moderada a vigorosa. En términos de volumen se recomienda que éste sea mayor a 150 minutos por semana.

Las actividades físicas que duran menos de ocho minutos no son beneficiosas de acuerdo a los pocos estudios sobre el tema (Powell et al., 2011). Sin embargo, realizar varias sesiones de 8 a 10 minutos de actividad aeróbica en el día permite lograr cambios en el sistema cardiovascular tanto como realizar una sola sesión de 30 o 60 minutos, siempre y cuando el total de tiempo por semana sea equivalente. Hasta el momento no existe un umbral máximo, sin embargo, se han reportado (Powell et al., 2011) en deportistas de elite lesiones músculo esqueléticas y disminución de la función inmune; lo que sugiere después de cierto aumento del volumen, los riesgos superan a los beneficios.

Desde el punto de vista de la psicología cognitiva, el ejercicio se ve como un factor estresante de acuerdo con algunos autores (McMorris et al., 2011). Ciertos estudios (Sanders, 1983; Kahneman, 1973, citados en McMorris et al, 2011) proponen que el ejercicio ejerce sobre la cognición un efecto de “U” invertida. El inicio de la curva representa el descanso o el ejercicio de baja intensidad, mientras que el final de esta, el ejercicio de alta intensidad, ambos puntos de la curva se asocian a un bajo desempeño cognitivo. En cambio, el punto más alto de la curva representa el ejercicio de intensidad media que proporciona un nivel óptimo de rendimiento cognitivo.

Desde la perspectiva de los cambios fisiológicos asociados al ejercicio físico, también se ha encontrado un efecto de “U” invertida (e.g. McMorris et al., 2011). El ejercicio de intensidad moderada produce un aumento de la actividad en el sistema simpático adrenal y en el eje hipotalámico – pituitario – adrenal, lo que provoca una mayor concentración cerebral de noradrenalina, dopamina, adrenocorticotropina y cortisol, dando lugar a un rendimiento cognitivo adecuado. Sin embargo, si esta actividad aumenta con el ejercicio intenso, se produce ruido neuronal lo cual ocasiona un bajo desempeño cognitivo.

En un meta-análisis (McMorris et al., 2011) se analizó la relación del ejercicio de intensidad moderada con el tiempo de reacción y el desempeño en tareas de memoria de trabajo. Se analizaron 24 estudios con personas entre 9 y 40 años de edad, de las cuales se emplearon los datos de 468 participantes para analizar los tiempos de reacción y los de 407 personas para analizar el desempeño en las tareas *Inhibition of Prepotent Responses, Flanker, Stroop, Random Number*

Generation, Operation Span, Reading Span, Oddball, Simon Task, Paced Auditory Serial Addition, Sternberg task, Wisconsin Card Sorting Task y tareas de atención visual que involucran el proceso de memoria de trabajo. Para clasificar a los estudios con personas que realizaban una actividad de intensidad moderada, se tomó en cuenta la cantidad máxima de oxígeno (VO_{2MAX}) que debía ser de 50% a 75%. Los estudios que no reportaban el VO_{2MAX} se clasificaron con otros indicadores como la frecuencia cardiaca, el porcentaje de la respuesta cardiaca máxima y el porcentaje de reserva de frecuencia cardiaca, entre otras. También se clasificaron a los participantes que realizaban ejercicio intensidad baja y alta. Los resultados revelaron una aceleración en los tiempos de reacción en las personas que realizaban ejercicio de intensidad moderada; en cambio no se observó ningún beneficio del ejercicio en el desempeño en las tareas de memoria de trabajo.

3.2. Ejercicio en México

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en conjunto con la Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte (CONADE) son los encargados de levantar el censo sobre la práctica deportiva y el ejercicio físico en México. En febrero de 2014 se realizó el último censo en 2336 viviendas, donde los encuestados eran mayores de 18 años. Los resultados del censo revelaron que un 56.4% de la población en área urbana es inactiva físicamente, de la cual un 38.7% son hombres y un 61.3% son mujeres. En contraste, del 43.6% que son activos físicamente, el 57.7% son hombres y el 42.3% son mujeres. La edad en las que se registra mayor inactividad es a los 55 años en los hombres (en el 61.2% de los hombres de esa edad); mientras que en las mujeres, es entre los 25 y los 34

años de edad (en el 71.4% de las mujeres en ese rango de edad) (INEGI y CONADE, 2014). Estos resultados sugieren que los hombres realizan menos actividad física durante la edad media que en otras edades de la vida adulta.

3.3. Ejercicio y memoria de trabajo

Se ha sugerido que conductas saludables como una dieta nutritiva, no fumar y realizar ejercicio, están relacionadas con un menor riesgo de presentar demencia en la vejez (Small et al., 2013). Manidi y Dafflon-Arvanitou (2002, citado en Colcombe et al., 2004) consideran que realizar ejercicio es beneficioso para nuestro sistema cardiovascular, debido a que las personas sedentarias tienen dos veces más riesgo de desarrollar una patología coronaria que las personas activas. Este efecto directo en el funcionamiento cardiovascular puede beneficiar indirectamente la plasticidad del cerebro y amortiguar el deterioro cognoscitivo asociado al envejecimiento.

En una revisión (Guiney & Machado, 2012) sobre el ejercicio físico aeróbico en niños (de 8 a 11 años de edad), adultos jóvenes (de 17 a 59 años de edad) y adultos mayores (de 60 a 79 años de edad) se reportaron evidencias de que la práctica de este tipo de ejercicio de forma regular tiene efectos benéficos en la ejecución de tareas de atención selectiva (e.g., *Stroop*) y de control inhibitorio (e.g. *Flanker Task*). Los adultos mayores que realizaban ejercicio aeróbico tuvieron menos errores en estas tareas que las personas sedentarias. En cambio, en el caso de los niños y adultos jóvenes, los estudios realizados hasta el momento son insuficientes para probar los beneficios del ejercicio aeróbico en estos grupos de edad. En las tareas de memoria de trabajo, como la de *n-back*, los adultos

mayores que practicaban ejercicio aeróbico de forma regular mostraron un mejor desempeño que los adultos mayores sedentarios (e.g. Guiney & Machado, 2012).

Algunos estudios que han empleado la técnica de Resonancia Magnética (RM) han encontrado que las personas que realizan ejercicio aeróbico, presentan menor atrofia en las cortezas prefrontal y temporal en comparación con las personas de su misma edad que no realizan actividad física. Del mismo modo, en las personas que realizan ejercicio aeróbico se observó que los tractos neuronales que conectan a la corteza prefrontal con otras regiones del cerebro se encontraban más preservados, y que el hipocampo presentaba mayor volumen que en las personas sedentarias. Los cambios anatómicos descritos podrían estar asociados a un mejor funcionamiento del control ejecutivo y de la cognición en general en los adultos mayores (Guiney & Machado, 2012). Sin embargo, aún falta estudiar el beneficio del ejercicio aeróbico exclusivamente en adultos de la edad media, ya que en la mayoría de los casos los datos de este grupo de edad se mezclan para su análisis con los datos de individuos más jóvenes o de mayor edad. Asimismo, la evidencia existente generalmente se basa en el análisis conjunto de varias tareas con el fin de estimar el efecto del ejercicio en la cognición en general, por lo que su efecto en funciones cognitivas específicas, como la memoria de trabajo, es poco conocido.

Entre los pocos estudios que han intentado evaluar el efecto del ejercicio aeróbico en la memoria, destaca la investigación realizada por Dustman et al., (1984). En este estudio se evaluó en 43 personas sedentarias de 55 a 70 años, los efectos de un programa de entrenamiento físico en la memoria de trabajo. La

muestra se dividió en tres grupos: experimental (recibió un entrenamiento de ejercicio aeróbico durante cuatro meses, tres veces por semana con sesiones de una hora de duración), control con ejercicio (recibió entrenamiento de ejercicio anaeróbico de flexibilidad y fuerza con la misma frecuencia y duración que el grupo experimental), control (no realizó ningún tipo de ejercicio). A todos los participantes se les aplicó una batería de pruebas neuropsicológicas; sin embargo, debido que el interés del presente estudio es la memoria, sólo se reportan los resultados obtenidos en la tarea de memoria de trabajo, respuestas correctas y tiempos de reacción. La prueba que utilizaron para medir la memoria de trabajo fue la de dígitos en regresión. La tarea se llevó a cabo en una computadora. Los resultados del análisis pre-test versus pos-test en la ejecución de la tarea de memoria no fueron significativos. Sin embargo, en el grupo experimental se observó una mejoría de 0.5 dígitos en comparación con los otros dos grupos. Los autores del estudio atribuyeron este resultado al hecho de que la tarea utilizada es sensible a los niveles reducidos de oxígeno. En cambio, los análisis de los tiempos de reacción fueron significativos, se observó que la velocidad de las respuestas aumentó entre el pre-test y post-test en el grupo que recibió entrenamiento aeróbico. Es importante reportar que el VO₂MAX del grupo experimental fue significativamente mayor que el de los participantes del grupo control con ejercicio. Por lo que a partir de este estudio se puede concluir que el entrenamiento físico aeróbico es efectivo para mejorar la velocidad de procesamiento de la información en la memoria de trabajo. Los autores refieren que la mejora del nivel de condición física aumenta los niveles de oxígeno lo que provoca un incremento en el

metabolismo cerebral, Asimismo, se ha encontrado que el movimiento y la estimulación sensorial aumentan el flujo sanguíneo cerebral activando áreas corticales, entre ellas, la corteza frontal. Así, los autores concluyeron que las actividades físicas realizadas en su programa de ejercicio, además de mejorar eficiencia aeróbica, pudo haber proporcionado suficiente estimulación cortical para promover cambios estructurales y funcionales.

Por su parte, el estudio de Alves et al. (2014) tuvo por objetivo estudiar el efecto del ejercicio de alta intensidad en la memoria de trabajo. En este estudio participaron 22 personas (13 mujeres) sanas con una media de edad de 53.7 años y con un índice de masa corporal promedio de 25.7. Se conformaron dos grupos de forma aleatoria. En la primera sesión se evaluó la memoria de trabajo mediante la prueba de dígitos en progresión y regresión. Una semana después, uno de los grupos realizó un entrenamiento de una sola sesión que consistía en tres minutos de calentamiento en bicicleta estática al 60% de la reserva del ritmo cardiaco, diez minutos al 80% de la reserva del ritmo cardiaco con pausas activas al 60 % de la reserva del ritmo cardiaco y dos minutos de enfriamiento al 60% de la reserva del ritmo cardiaco. Al final del entrenamiento se les aplicó nuevamente la prueba de dígitos en progresión y regresión. El otro grupo recibió pláticas informativas durante diez minutos sobre los beneficios de la práctica regular de ejercicio, quince minutos de suaves ejercicios de estiramiento y al finalizar se les aplicó la prueba de memoria de trabajo de progresión y regresión de dígitos. Una semana después, el grupo que fue entrenado recibió la plática y los ejercicios de estiramiento, y el otro grupo, recibió el entrenamiento de ejercicio físico intenso.

Los resultados revelaron que en las pruebas de memoria realizadas después del entrenamiento no se observaron diferencias significativas entre los grupos. Los autores concluyeron que la fatiga producida por el programa de entrenamiento físico intenso disminuye los efectos benéficos en la cognición del ejercicio físico.

Hansen et al., (2004) observaron, en adultos jóvenes de 18 a 22 años, que la práctica de ejercicio aeróbico mejora la exactitud de las respuestas en la tarea 2-back. Estos investigadores entrenaron a marineros de la Real Armada de Noruega para realizar ejercicio aeróbico durante ocho semanas tres veces por semana. Después de este entrenamiento los participantes realizaron tareas de memoria 2-back como pre-test y se formaron dos grupos, uno continuaría el entrenamiento durante cuatro semanas más y el otro detendría su actividad física. Pasadas las cuatro semanas se realizaron evaluaciones post-test con la tarea 2-back; los resultados mostraron un mejor desempeño y tiempos de reacción más rápidos en la evaluación post-test en los marineros que continuaron el entrenamiento en comparación con los que lo interrumpieron. Los autores relacionaron los resultados con la variabilidad del ritmo cardíaco (VRC), esta se ha asociado con una buena salud física y psicológica. El ritmo cardíaco es controlado por el nervio vago y está asociado con la activación de la corteza frontal; así, si la activación en la corteza frontal se ve disminuida afectara la eficiencia cardíaca y esto se refleja en la VCR, entonces, se puede pensar que en tareas que involucran a la corteza frontal existe un mejoramiento en la eficiencia neuronal de esta región.

Otra actividad que ha sido estudiada es la de caminar, Weuve et al. (2004) exploraron en un estudio longitudinal los posibles beneficios de caminar en las

funciones cognitivas. En una población de 7982 enfermeras de 70 años, se evaluó con la prueba *East Boston* el recuerdo inmediato y tardío, la memoria verbal y la prueba de regresión de dígitos. Mediante un cuestionario, se registró cada 1.8 años el tiempo que las enfermeras le dedicaban a la actividad de caminar. La cantidad de ejercicio realizado para el primer cuartil menos de 38 min/semana, para el segundo cuartil de 39 minutos a 1.4 horas/semana, para el tercer cuartil 1.5 a 2.08 horas/semana y para el último cuartil fue de más de 2.08 hora/semana. Los resultados mostraron que las personas que caminaban más tiempo (tercer y cuarto cuartil) tuvieron puntuaciones más altas en la memoria de trabajo y en la memoria verbal que las personas que caminaban menos tiempo. Los autores explicaron que el ejercicio produce una reducción de la presión arterial, el mejoramiento del perfil de lipoproteínas y el incremento en la producción de óxido nítrico en el endotelio; en conjunto, esto puede favorecer una perfusión cerebral adecuada y explicaría el desempeño obtenido en las pruebas de memoria. Otro beneficio a largo plazo al que está asociado el ejercicio es a ser aproximadamente tres años más joven cognitivamente y con un 20% menos de deterioro cognitivo.

En otro estudio, Nagamatsu et al. (2013) dividieron a una muestra de 86 mujeres entre 70 y 80 años de edad en tres grupos, uno que realizaba ejercicios de resistencia (ER), otro que realizaba ejercicios aeróbicos (EA), y un tercero que hacía ejercicios de tonificación y estiramiento (ET). Todos los grupos entrenaron dos veces por semana una hora durante 26 semanas. Las participantes fueron evaluadas con la prueba verbal *The Rey Auditory Verbal* y una prueba computarizada de 1-, 2- y 3-back. Entre los resultados, se reportó que en la

prueba verbal la pérdida de palabras después de una interferencia se redujo un 32.5% en el grupo ER y un 43.4% en el grupo EA. En las tareas de *n*-back, los tiempos de reacción fueron más rápidos en los grupos ET y EA que en el grupo ET. Los autores argumentan que la práctica de ejercicios de resistencia y de ejercicios aeróbicos tiene un impacto en el hipocampo (estructura relacionada con memoria espacial) ya que afectan su estructura por medio de la neurogénesis y la proliferación neuronal al incrementar los niveles del factor neurotrófico del cerebro (implicado en el crecimiento celular); asimismo, la práctica de estos ejercicios producen otros cambios fisiológicos como lo son el incremento en el flujo sanguíneo cerebral y la reducción de la neuroinflamación,

En otro estudio (Stroth et al., 2010) se evaluó si el ejercicio beneficiaba el rendimiento cognitivo. Para ello entrenaron a 75 participantes (47 experimentales y 28 controles, de entre 17 y 47 años de edad) y midieron sus niveles de lactato, con el propósito de impedir que los participantes pasaran de realizar un ejercicio aeróbico a uno anaeróbico. El entrenamiento duró cuatro meses en los que los participantes cubrieron un total de 50 sesiones, asistiendo de 2 a 4 veces por semana. La evaluación pre-test y post-test se llevó a cabo mediante la tarea de memoria 2-back. Los resultados revelaron que el porcentaje de respuestas correctas aumentó pero no de manera significativa después del entrenamiento; sin embargo, los tiempos de reacción disminuyeron de manera significativa después del entrenamiento. Los autores proponen que la presencia del gen Val y la mejora del rendimiento físico llevo a los participantes a obtener mejores tiempos de reacción. Asimismo, los participantes que portaban el alelo MET mostraron una

tendencia a obtener un mejor desempeño en la tarea de memoria de trabajo que los que portaban el gen Val, al parecer, la dopamina se ve optimizada por realizar ejercicio físico.

En el estudio de Small et al. (2013) se pidió a 18 552 personas que reportaran la percepción que tenían de su memoria y se encontró que aquellas que reportaron mayores niveles de actividad física consideraban que tenían mejor memoria si pertenecían a los grupos de edad media (40 a 59 años) y de adultos mayores (60 a 99 años), pero no si correspondían al grupo de los adultos jóvenes. Se concluye que el acondicionamiento aeróbico tiene efectos fisiológicos como aumento del flujo sanguíneo cerebral, del crecimiento neuronal, en la expresión del factor neurotrófico derivado del cerebro (lo que mejora la plasticidad cerebral) y del volumen del hipocampo. Los autores creen que a esto se debe que las personas que realizan ejercicio perciban un mejor funcionamiento de su memoria.

En el estudio longitudinal de Bielak et al. (2014) se registró la actividad física que realizan las personas en su vida diaria con el propósito de estimar si esta actividad beneficia a la memoria de trabajo (evaluada a través de la tarea de memoria de dígitos en progresión y regresión) así como a otras funciones cognitivas (e.g., velocidad perceptual, memoria a corto plazo y memoria episódica). Se evaluaron a los participantes en un período de ocho años y las mediciones se realizaron cada cuatro años. Se registraron: 2404 personas entre 20 y 24 años de edad, 2530 personas entre 40 y 44 años de edad y 2551 personas entre 60 y 64 años de edad. Los participantes reportaron la frecuencia y el número de horas semanales que practicaban actividad física; así como, el tipo

de actividad para determinar su intensidad (ligera, [e.g., caminar]; moderada, [e.g., danza, ciclismo]; o vigorosa, [e.g., correr, squash]). Los resultados no se reportaron por separado para cada una de las funciones cognitivas evaluadas. Los adultos jóvenes mostraron un mejor desempeño cognitivo a lo largo de los ocho años evaluados, en el grupo de cuarenta años de edad no se observaron cambios y en los adultos mayores se observó una disminución en su desempeño cognitivo. Asimismo, sólo el grupo de 20 años incrementó significativamente su actividad física a lo largo de los ocho años evaluados, los adultos mayores incrementaron su actividad física sólo ligeramente y los adultos de edad media no mostraron cambios. Los autores observaron que las personas que practicaban actividad física al inicio del estudio y continuaron realizando esta actividad a lo largo de ocho años mantuvieron sus funciones cognitivas. Además, aquellas personas que incrementaron al menos una hora más su actividad física semanal en los ocho años evaluados mejoraron su desempeño en las tareas cognitivas por 0.5 % en comparación con su desempeño al inicio del estudio.

Lo, Woodman, Pachana, Byrne y Sachdev (2014) realizaron un estudio longitudinal para evaluar la asociación entre el estilo de vida y las funciones cognitivas, entre estas funciones, evaluaron a la memoria de trabajo con la tarea de dígitos en regresión. Participaron en total 489 mujeres con una media de edad de 60 años (Desviación Estándar: 11 años). El estudio se dividió en tres fases de evaluación que ocurrieron en el 2001, 2005 y 2008. Las personas reportaron a través de una escala Likert cuánta actividad física realizaron en los últimos doce meses. La escala iba de 1 (moverse lo necesario) a 6 (ejercicio vigoroso

competitivo). La escala se modificó a cuatro puntos en la tercera fase (inactivo, actividad ligera, actividad moderada y actividad vigorosa). Se analizó el desempeño en la tarea de memoria de trabajo a lo largo de los ocho años: en las primeras dos fases no hubo cambios significativos, sin embargo, en la tercera fase su ejecución disminuyó significativamente. La única asociación que se observó entre la función cognitiva y la actividad física fue en la velocidad de procesamiento, las mujeres que realizaban actividad física intensa respondieron más rápidamente las tareas en comparación con las mujeres inactivas. El desempeño en la tarea de memoria de trabajo no difirió significativamente en función de la actividad física de las personas; sin embargo, se observó en las mujeres que realizaban ejercicio, sin importar la intensidad del mismo, una tendencia a mejorar su ejecución en estas tareas. Los autores sugieren que el incremento en la velocidad de procesamiento se debe a la activación de mecanismos biológicos como producción de neurotransmisores y el factor derivado del cerebro producidos por el ejercicio físico; la actividad física también participa como reserva cognitiva pues la inactividad física produce que se acelere el declive de funciones cognitivas.

En otro estudio longitudinal (Sabia et al., 2006) se evaluaron conductas poco saludables (e.g., fumar, consumo de alcohol, no realizar actividad física y consumo pobre de frutas y vegetales) y su relación con las funciones cognitivas. En este estudio participaron 5123 personas con un rango de edad de 35 a 55 años, el 67% de los participantes eran hombres. Se realizaron ocho fases de evaluación entre 1985 y 2004. Las personas reportaron con qué frecuencia y duración realizaban

actividad física, y ésta se clasificó como niveles bajos de actividad física (e.g., limpieza de la casa, deshierbar el jardín), niveles moderados de actividad física (e.g., bailar, andar en bicicleta) y niveles altos de actividad física (e.g., correr, nado intenso). Se evaluó la memoria verbal a corto plazo a través de una lista de 20 palabras de una y dos sílabas, cada palabra se presentaba durante dos segundos y dos minutos después, se les pidió a los participantes que anotaran todas las palabras que recordaran de la lista en el orden que quisieran. En las fases 5 y 7 observaron que las personas con bajos niveles de actividad física tuvieron mayor probabilidad de obtener puntajes cognitivos pobres en comparación con las personas que realizaban niveles altos de actividad física. Se observaron diferencias significativas en el desempeño cognitivo entre las personas que realizaban conductas saludables y las que no las realizaban (de 3 a 4 conductas no saludables). Los autores asociaron un bajo desempeño cognitiva en la edad media a la práctica de conductas poco saludables, mostrando así que las conductas saludables o insalubres a lo largo del ciclo de vida impactaran la función cognitiva en edades avanzadas, por lo que el cuidado de la salud en la edad media tiene un impacto en desarrollo del deterioro cognitivo de la edad adulta.

Capítulo 3

4. Justificación

Los resultados expuestos muestran un ámbito de la salud que comienza a descuidarse conforme se llega a la edad media. La actividad física es relevante no solo por su beneficio en la salud sino por su probable beneficio en la memoria, ya

que los hallazgos descritos sugieren que realizar ejercicio aeróbico de manera regular en la edad adulta temprana y avanzada beneficia a la memoria de trabajo (Guiney & Machado, 2012). Sin embargo, aún existen controversias sobre el grado de ese beneficio y siguen sin identificarse los tipos de actividad física y la duración con la que ésta se realiza para obtener resultados positivos. Además, no se ha explorado lo suficiente el efecto del ejercicio en la memoria de trabajo en personas de la edad media, edad de suma importancia porque constituye la antesala de la vejez, etapa en donde se sabe ocurre un declive significativo de la memoria de trabajo.

Capítulo 4

5. Método

5.1. Planteamiento del problema

¿Existirán diferencias significativas en el porcentaje de respuestas correctas y en los tiempos de reacción en tareas de memoria de trabajo espacial y verbal en dos niveles de complejidad entre personas de 41 a 59 años de edad que realizan y no realizan ejercicio físico?

5.2. Objetivo

Determinar si la ejecución correcta y los tiempos de reacción en tareas de memoria de trabajo espacial y verbal de diferente complejidad difieren entre personas de 41 a 59 años de edad que realizan y no realicen ejercicio físico.

5.3. Hipótesis

Existirán diferencias en el porcentaje de respuestas correctas y en los tiempos de reacción en tareas de memoria de trabajo espacial y verbal en dos niveles de

complejidad entre un grupo de personas de edad media que realiza ejercicio físico y otro que no realiza tal ejercicio.

El porcentaje de respuestas correctas en tareas de memoria de trabajo espacial y verbal en dos niveles de complejidad correlacionarán positivamente con el tiempo que las personas dedican para realizar ejercicio físico.

Los tiempos de reacción en las respuestas correctas en tareas de memoria de trabajo espacial y verbal en dos niveles de complejidad se correlacionarán con el tiempo que las personas dedican para realizar ejercicio físico.

5.4. Variables

Variables atributivas:

- Ejercicio físico

Realizar ejercicio físico: Personas que realizan algún ejercicio físico al menos tres veces por semana por una hora mínimo en cada ocasión.

No realizar ejercicio físico. Personas que no realizan ejercicio físico.

Variables independientes:

- Tipo de memoria de trabajo (ambas medidas a través de la tarea *n*-back)

Espacial

Verbal

- Complejidad de la tarea de memoria de trabajo

1-back: recordar la posición del estímulo o el estímulo presentado en el ensayo anterior.

2-back: recordar la posición del estímulo o el estímulo presentado dos ensayos antes.

Variables dependientes

- Porcentaje de respuestas correctas en las tareas de memoria de trabajo verbal y espacial en los dos niveles de complejidad.
- Tiempo de reacción: Tiempo para proporcionar las respuestas correctas en las tareas de memoria de trabajo verbal y espacial en los dos niveles de complejidad. Medido en milisegundos a partir del inicio de la presentación del estímulo.

5.5. Participantes

Participaron 100 personas sanas de 41 a 59 años de edad: se dividieron en dos grupos de 50 personas que realizaban ejercicio aeróbico por lo menos tres veces a la semana durante una hora y el resto (25 hombres) no realizaba ejercicio físico.

Las características de la muestra se describen en la Tabla 1.

Tabla 1.

Características de los participantes y puntajes obtenidos en las pruebas psicológicas (medias y desviaciones estándar). Se reporta el puntaje normalizado en la Subescala de Vocabulario del WAIS. En el caso del Inventario de Depresión Beck y la Prueba de Estado Minimental de Folstein (MMSE) se reporta la mediana y el rango intercuartil.

	Edad (años)	Años estudio	WAIS	Beck	MMSE
Realiza ejercicio físico	50.41 (5.32)	15.51 (4.10)	13.06 (2.02)	4.00 (5.00)	29.00 (2.00)
No realiza ejercicio físico	50.41 (5.35)	14.76 (3.50)	12.74 (1.42)	4.50 (7.25)	29.00 (2.25)

Los criterios de inclusión fueron visión normal o corregida a lo normal, escolaridad mínima de 8 años, puntaje mínimo de 26 en la Subescala de Vocabulario de la Escala de Inteligencia para Adultos Revisada Weschler (Weschler, 1981), puntaje mínimo de 24 en el Estado de Mini-mental de Folstein (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975). Los criterios de exclusión fueron adicción a drogas y/o alcohol, padecer enfermedades neurológicas o psiquiátricas, consumo de medicamentos que alteren el sistema nervioso central y puntaje mayor a 20 en el Inventario de Depresión de Beck (Beck, Ward, Mendelson, Mock, & Erbaug, 1961).

Los participantes recibieron \$200 como compensación y firmaron su acuerdo de participación voluntaria informada. No se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en edad, años de estudio, ni en los puntajes de las pruebas psicológicas entre los grupos de participantes que hacían y no hacían ejercicio. De los 50 participantes que realizaban ejercicio aeróbico, nueve también hacían ejercicio anaeróbico; la mayoría (37) reportó hacerlo diario, 11 lo hacían casi todos los días y 12 lo realizaban tres o cuatro veces a la semana. En promedio las personas dedicaban 78.2 minutos ($DE = 41.4$ minutos) a realizar ejercicio cada vez que lo hacían.

5.6. Instrumentos

Subescala de Vocabulario de la Escala de Inteligencia para Adultos Revisada Weschler (Weschler, 1981) se correlaciona con el coeficiente intelectual que se obtiene de WAIS así como otras pruebas de inteligencia, se confiabilizó por el

método *test-retest*, con una correlación de 0.96. Esta subescala permite evaluar el estado de la habilidad mental de los participantes.

Minimental Folstein (Folstein et al., 1975), la prueba evalúa la orientación, la concentración, la atención, el cálculo, la memoria y el lenguaje esto por medio de 11 apartados, esta prueba permite identificar la presencia de demencia en las personas. El diagnóstico de demencia es con puntajes menores a 24 puntos, permitiendo distinguir entre personas con deficiencias cognitivas de moderadas a graves. La confiabilidad *test-retest* (24 horas) es de 0.89 con el mismo aplicador y de 0.83 cuando se cambia de aplicador.

Inventario de Depresión de Beck (Beck et al., 1961) esta prueba evalúa el grado de depresión que pueden presentar las personas, contiene 21 síntomas o actitudes a los que se les asigna un puntaje si el puntaje es mayor a 20 probablemente sufre depresión. Se estandarizó con 409 personas entre 15 y 55 años de edad, el coeficiente de confiabilidad es de 0.86.

Cuestionario de calidad de vida, este explora la edad, antecedentes médicos, el consumo de medicamentos, de alcohol y drogas, así como actividades cotidianas. Este instrumento se empleó para conocer la frecuencia, el tiempo y el tipo de ejercicio físico que realizaban las personas de edad media.

5.7. Aparatos

Se utilizaron dos computadoras PC, dos monitores de 17 pulgadas, una caja de respuestas, el software *E-Prime* para mostrar los estímulos y registrar las respuestas de los participantes, una televisión, y una videocámara.

5.8. Estímulos

En la tarea espacial se utilizó un de círculo color gris con un ángulo visual vertical y horizontal aproximado de 1.5° . El estímulo se presentó en una de doce posibles opciones en un círculo imaginario alrededor del centro de la pantalla. La distancia entre el centro de la pantalla y los estímulos fue de 4° . Se realizaron 72 ensayos en cada nivel de complejidad (1 y 2-back) de la tarea espacial. En el 33% de los ensayos los círculos fueron estímulos blancos, es decir, misma posición que el estímulo presentado un ensayo atrás (1-back) o dos ensayos antes (2-back) y el resto estuvieron en diferente posición que el estímulo presentado, uno o dos ensayos antes.

Para la tarea verbal se utilizaron 12 diferentes letras en mayúscula, con un ángulo vertical y horizontal de aproximadamente 1.5° , que se proyectaron al centro de la pantalla. Se llevaron a cabo 72 ensayos en cada nivel de complejidad (1 y 2-back) y en el 33% de los ensayos las letras fueron estímulos blancos, es decir, la misma letra que se presentará uno (1-back) o dos (2-back) ensayos antes.

5.9. Tarea de memoria de trabajo

En la tarea de memoria de trabajo espacial, se proyectó un círculo gris durante 300 ms en una de doce diferentes posiciones alrededor del círculo imaginario. El participante tuvo 2700 ms para contestar un vez que el estímulo desaparecía (Figura 1). En la tarea 1-back (baja complejidad), el participante debía indicar si el círculo se desplegó en la misma posición que en el ensayo anterior presionando uno de los botones de la caja de respuestas, o presionar otro de los botones de la caja de respuesta, si no se presentó en la misma posición. En la tarea de 2-back (alta complejidad), el participante debía presionar un botón si el estímulo se

presentaba en la misma posición que el presentado dos ensayos atrás, u otro botón si no se presentaba en la misma posición.

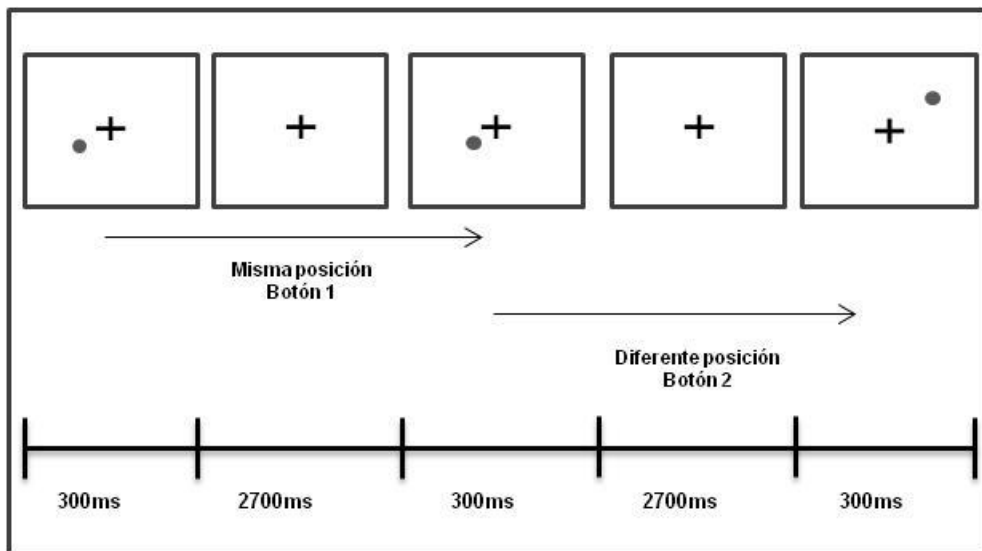


Figura 1. Tarea de memoria de trabajo 1-back espacial.

En la tarea de memoria de trabajo verbal se presentó una letra en el centro de la pantalla durante 300 ms, después la pantalla permanecía en blanco durante 2700 ms, tiempo en que el participante podía responder. En la tarea de baja complejidad, debía presionar un botón si la letra que se le presenta era igual a la anterior, si no, debía presionar el otro botón (Figura 2). En la tarea de alta complejidad, el participante debía presionar un botón si la letra que se presentaba era la misma que la presentada dos ensayos antes, si no, debía presionar el otro botón.

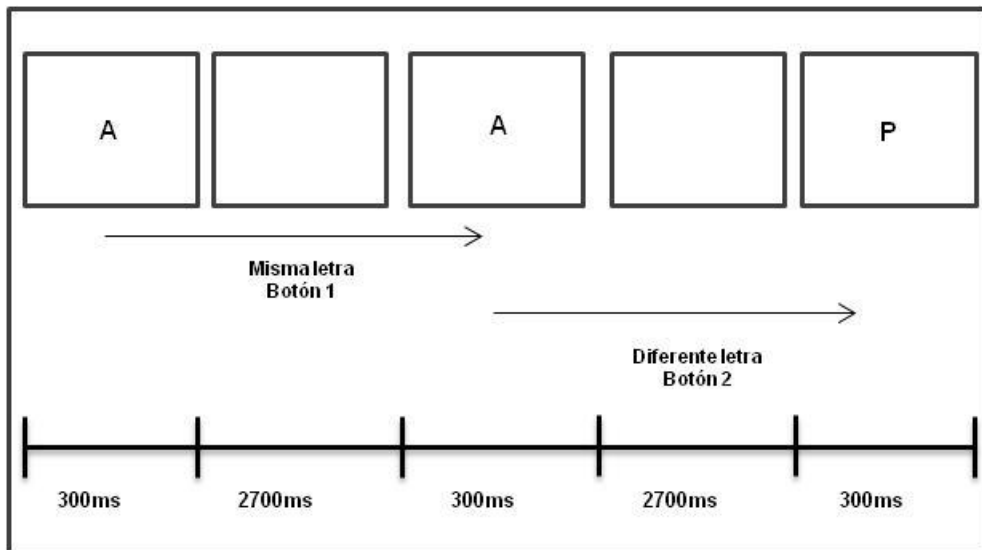


Figura 2. Tarea de memoria de trabajo 1-back verbal.

5.10. Procedimiento

La primera sesión se realizó en un cubículo silencioso y fue en ésta en la que se determinó si el participante cumplía con los criterios de inclusión. Se aplicó la Subescala de Vocabulario de la Escala de Inteligencia para Adultos Revisada de Wechsler (Wechsler, 1981), el Estado Mini-Mental de Folstein (Folstein et al., 1975) y el Inventario de Depresión de Beck (Beck et al., 1961), después se indagó por medio de una entrevista estructurada sobre el ejercicio que realiza el participante, se le preguntó si en la actualidad realizaba ejercicio, el tipo de ejercicio (aeróbico o anaeróbico), la duración (cuánto tiempo) y la frecuencia a la semana lo realiza.

En la segunda sesión se realizaron las tareas de memoria de trabajo espacial y verbal 1-back y 2-back en orden contrabalanceado, es decir, la mitad de los participantes realizó primero la tarea verbal y la otra mitad la tarea espacial, del mismo modo, el nivel de complejidad también fue contrabalanceado para cada tipo

de memoria. Esta sesión se realizó en una cámara sonoamortiguada. El participante se sentó en un sillón con respaldo alto a una distancia de un metro del monitor de la computadora y respondió por medio de una caja de respuestas con su mano dominante que estaba colocada en el brazo del sillón.

5.11. Análisis de datos

Se llevaron a cabo análisis descriptivos (medias y desviaciones estándar) del porcentaje de respuestas correctas y de sus tiempos de reacción en las tareas de memoria de trabajo.

El porcentaje de respuestas correctas y los tiempos de reacción en las respuestas correctas se analizaron por separado mediante ANOVAs mixtos que incluyeron los factores Ejercicio físico (realiza ejercicio y no realiza ejercicio), tipo de memoria (verbal y espacial) y complejidad (1-back y 2-back). Para determinar las interacciones significativas, se utilizó la prueba *post hoc* de Tukey.

El tiempo que dedican a hacer ejercicio físico se correlacionó mediante la prueba de Pearson con los porcentajes de respuesta y los tiempos de reacción en las tareas de memoria de trabajo verbal y espacial, en ambos niveles de complejidad. Los resultados se consideraron significativos con una $p < 0.05$.

Capítulo 5

6. Resultados

Los resultados obtenidos por ambos grupos, en cada una de las tareas y en cada nivel de complejidad, se muestran tanto el porcentaje de respuestas correctas (Tabla 2) como los tiempos de reacción (Tabla 3).

Tabla 2.

Media del porcentaje de respuestas correctas en cada una de las tareas de memoria de trabajo en el grupo de personas que realizaba ejercicio físico y en el que no lo realizaba.

	Realiza ejercicio físico		No realiza ejercicio físico	
	Respuestas correctas (%)	DE	Respuestas correctas (%)	DE
1-back espacial	94.39	4.08	93.97	5.50
2-back espacial	83.23	9.09	78.60	8.49
1-back verbal	97.10	3.42	96.76	3.33
2-back verbal	85.54	9.77	83.26	9.44

*DE desviación estándar

Tabla 3.

Media de los tiempos de reacción (ms) en las respuestas correctas en cada una de las tareas de memoria de trabajo en el grupo de personas que realizaba ejercicio físico y en el que no lo realizaba.

	Realiza ejercicio físico		No realiza ejercicio físico	
	Tiempos de reacción	DE	Tiempo de reacción	DE
1-back espacial	886	131	898	115
2-back espacial	1200	225	1232	176
1-back verbal	830	162	849	140
2-back verbal	1061	231	1163	195

*DE desviación estándar

El ANOVA mixto que se llevó a cabo para analizar la variable porcentaje de respuestas correctas fue significativo para los factores tipo de memoria ($F(1,98) = 34.34, p < 0.0001$) y complejidad ($F(1,98) = 362.80, p < 0.0001$). Las tareas *n*-back espacial (Media \pm error estándar: $87.46\% \pm 0.53$) resultaron más difíciles que las tareas *n*-back verbal ($90.64\% \pm 0.55$), al igual que las tareas 2-back ($82.26\% \pm 0.79$) en comparación con las tareas 1-back ($95.87\% \pm 0.28$), esto ocurrió independientemente de que las personas hicieran o no ejercicio.

Asimismo, se encontró una interacción significativa entre los factores tipo de memoria y complejidad ($F(1,98) = 4.32, p < 0.04$). En el análisis *post hoc* se observó que el desempeño en ambos grupos en las tareas 2-back verbal (84.37%

± 0.93) fue superior que en las tareas 2-back espacial ($80.16\% \pm 0.90$), sin embargo no hubo diferencias entre las tareas de baja complejidad verbal y espacial (verbal: $96.96\% \pm 0.34$; espacial: $94.76\% \pm 0.36$).

Otra interacción significativa se observó entre los factores complejidad y ejercicio físico ($F(1,98) = 10.07, p = 0.002$). La prueba *post hoc* reveló que las personas que realizaban ejercicio se desempeñaron mejor en las tareas de memoria de trabajo espacial y verbal de alta complejidad en comparación con las personas que no realizaban ejercicio físico (Figura 3). Sin embargo, en las tareas de baja complejidad de ambas modalidades, no se observaron diferencias significativas entre el grupo que realizaba ejercicio y el que no lo realizaba.

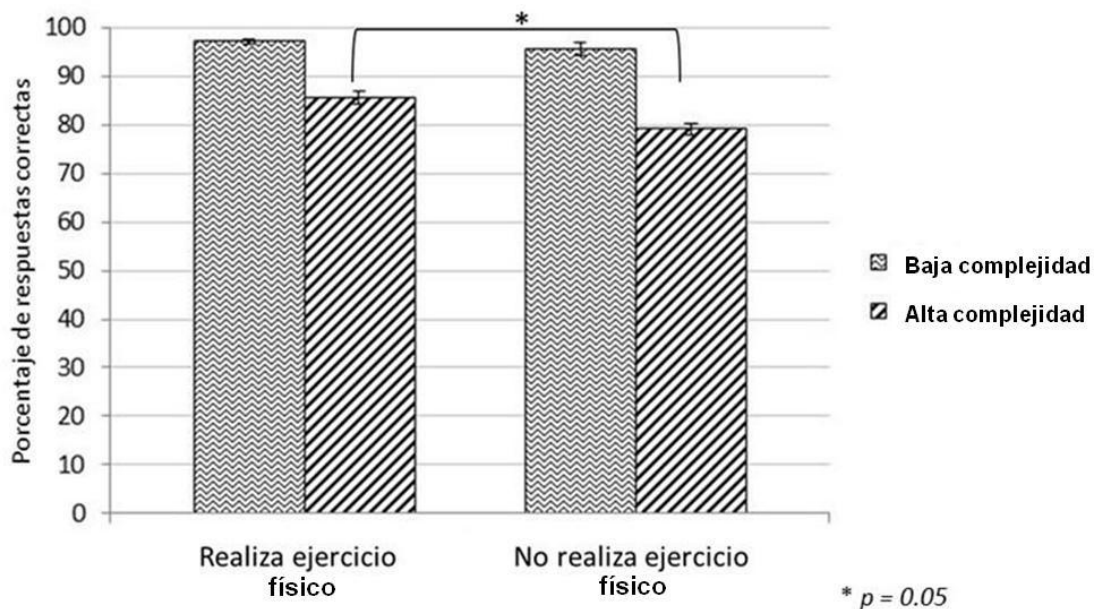


Figura 3.

Media del porcentaje de respuestas correctas en las tareas de memoria de baja (1-back) y alta complejidad (2-back) en las personas que realizaban ejercicio físico y las que no lo realizaban. Las barras representan el error estándar y las líneas las tareas que mostraron diferencias significativas entre los grupos.

Se analizaron los tiempos de reacción con un ANOVA mixto, para las respuestas correctas resultó significativo en los factores tipo de memoria ($F(1,98)$

= 36.81, $p < 0.0001$) y complejidad ($F (1,98) = 488.21, p < 0.0001$), independientemente de que las personas hicieran o no ejercicio, los tiempos de reacción en las tareas n -back espacial (1053 ms \pm 16) fueron más prolongados que en las tareas n -back verbal (980 ms \pm 17). Del mismo modo, los tiempos de reacción fueron mayores en las tareas 2-back (1168 ms \pm 20) en comparación con las tareas 1-back (865 ms \pm 13). Asimismo, se encontró una interacción significativa entre los factores tipo de memoria y complejidad ($F (1,98) = 8.23, p = 0.004$). La prueba *post hoc* de Tukey reveló que los tiempos de reacción fueron mayores en la tarea de alta complejidad espacial (1219 ms \pm 23) en comparación con la tarea de alta complejidad verbal (1116 ms \pm 22), mientras que los tiempos de reacción en las tareas de baja complejidad no difirieron significativamente en función de su modalidad (verbal: 843 ms \pm 16 y espacial: 886 ms \pm 13).

Los análisis de correlación de Pearson entre el tiempo dedicado a realizar ejercicio físico y el porcentaje de respuestas correctas en cada una de las tareas de memoria de ambas modalidades y complejidades no resultaron significativos. Tampoco los análisis de correlación entre la frecuencia con que los participantes hacen ejercicio y los porcentajes de respuestas correctas en cada una de las tareas fueron significativas.

Los análisis de correlación de Pearson entre tiempo de ejercicio y tiempos de reacción resultaron significativos sólo en la tarea 1-back espacial ($r = -0.29, p = 0.05$). Los tiempos de reacción en las respuestas correctas fueron menores en las personas que realizan sesiones de ejercicio de mayor duración (Figura 4). Sin embargo, los análisis de correlación entre la frecuencia con la que realizan

ejercicio y los tiempos de reacción no resultaron significativos en ninguna de las tareas de memoria.

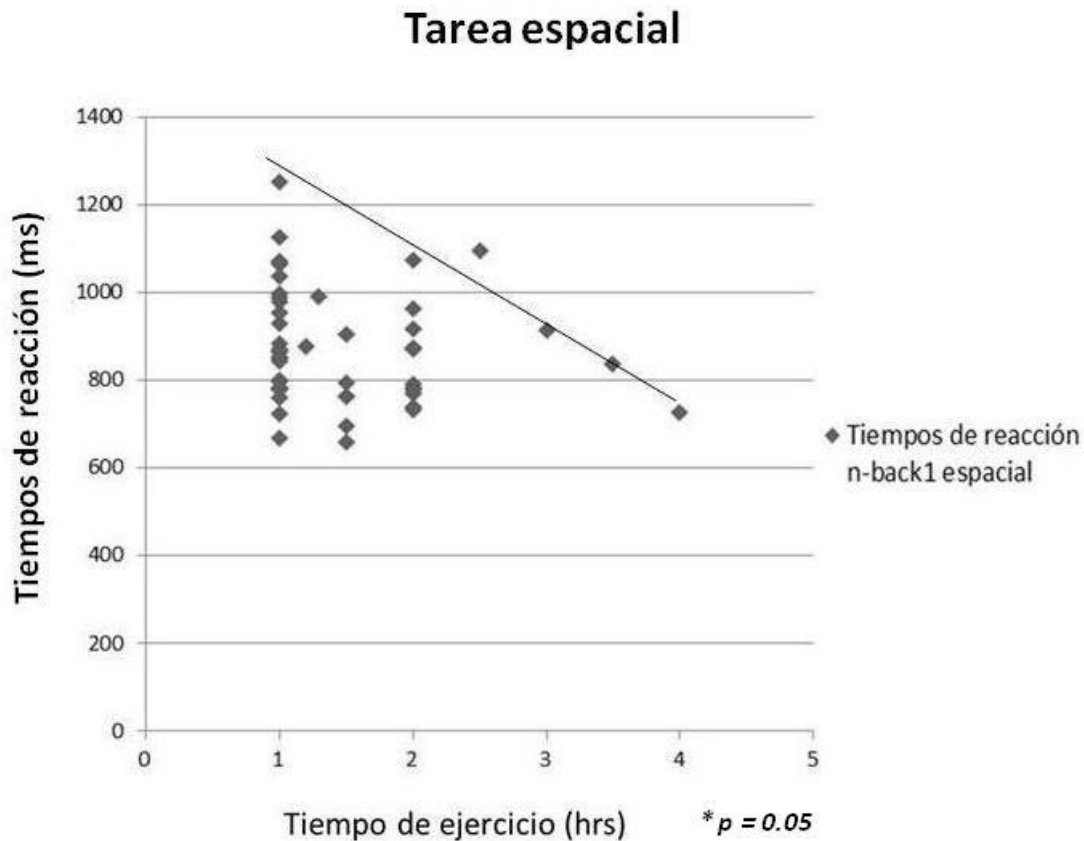


Figura 4. Relación entre tiempo dedicado a la sesión de ejercicio físico y tiempos de reacción en las respuestas correctas de la tarea 1-back espacial.

Capítulo 7

7. Discusión

Los resultados del presente estudio confirman que realizar ejercicio aeróbico en la edad media beneficia el desempeño en tareas de memoria de trabajo de alta complejidad, independientemente de su modalidad visual o espacial. Las personas que realizaban ejercicio físico por lo menos tres veces por semana, mínimo una hora por sesión mostraron este beneficio en las tareas de memoria de alta

complejidad. En las tareas de baja complejidad no se observó ningún beneficio, probablemente porque las personas tuvieron un desempeño muy alto en estas tareas, cercano al 100%, es decir, su desempeño era de por sí alto en las personas que no realizaban ejercicio por lo que no se podían beneficiar aún más las personas que sí lo realizaban. Cabe destacar que este es el primer estudio que observa que el ejercicio es benéfico sólo en tareas de alta complejidad, ya que en ninguno de los estudios previos (Alves et al., 2014; Bielak et al., 2014; Dustman et al., 1984; Hansen et al., 2004; Lo et al., 2014; Nagamatsu et al., 2013; Sabia et al., 2006; Weuve et al., 2004) se había analizado la variable complejidad de la tarea.

El incremento en la complejidad de la tarea *n*-back implica una mayor demanda de los procesos de almacenamiento, asociación de cada estímulo a su orden temporal, recuperación de la información, actualización de la información, monitoreo y control de la interferencia por parte de estímulos que no corresponden al estímulo que se encuentra en la posición que se está evaluando (Cansino et al., 2013). Algunos de estos procesos incluso están ausentes en las tareas de baja complejidad, por ejemplo, no es necesario controlar la interferencia de estímulos que no corresponden a la posición del estímulo de interés porque sólo es necesario almacenar en memoria el estímulo de interés que acaba de ser presentado (1-back). Las funciones cognitivas más demandantes son las que son más vulnerables durante el envejecimiento (Park et al., 2002), por ello resulta relevante haber identificado que el ejercicio físico puede ayudar a mitigar el deterioro de funciones de alta complejidad.

Este resultado también podría indicar por qué la mayoría de los adultos mayores no se ven muy interesados en realizar ejercicio físico. Estas personas dejan sus trabajos y sus actividades cotidianas se vuelven menos demandantes, por lo tanto, no realizar ejercicio no afecta su desempeño en tareas relativamente simples, probablemente por ello, no se sienten motivados para realizar este tipo de actividad. Sin embargo, quizá los adultos mayores no se benefician del ejercicio (Dustman et al., 1984) porque de acuerdo a nuestros resultados, se requiere realizar ejercicio más de tres veces a la semana y más de una hora por sesión, además, se ha visto que los adultos mayores generalmente realizan ejercicio de baja intensidad (Lo et al., 2014).

Otro hallazgo importante del presente estudio es que el ejercicio benefició el desempeño en las tareas de alta complejidad, independientemente de su modalidad. Esto indica que no importa el tipo de información que se esté procesando sino los procesos que se están llevando a cabo para lograr un mayor éxito en las tareas. En términos del modelo de memoria de trabajo propuesto por Baddeley y Hitch (1974), los resultados indican que el ejercicio no tiene un impacto directo sobre los componentes esclavos del modelo, el bucle fonológico y la agenda visoespacial, sino sobre el ejecutivo central. El ejecutivo central es el principal administrador y organizador de los recursos por lo que su funcionamiento óptimo es vital para el éxito de la memoria de trabajo. Las implicaciones de un mejor desempeño del ejecutivo central en otras funciones cognitivas son vitales porque la memoria de trabajo es el proceso que subyace a numerosas funciones

como la memoria, el lenguaje, las operaciones aritméticas y el razonamiento, entre otras.

Como se mencionó el beneficio del ejercicio aeróbico se observó en personas que dedicaban al menos tres sesiones a la semana de una hora mínimo, pero en la muestra la mayoría lo hacía incluso diario. Los resultados del presente estudio coinciden con los de otros estudios en adultos mayores en el que se observó que el ejercicio aeróbico mejoró el desempeño de los participantes en tareas *n*-back en comparación con adultos sedentarios (Guiney & Machado, 2012; Nagamatsu et al., 2013). También los resultados del presente estudio coinciden con los hallazgos de Dustman et al., (1984), quienes evaluaron a personas de edad media y encontraron un incremento en la memoria de 0.5 dígitos en personas que realizaban ejercicio anaeróbico en comparación con personas sedentarias. Del mismo modo, Sabia et al. (2006) reportaron que las personas que realizaron menor actividad física tuvieron más probabilidades de tener un bajo desempeño cognitivo.

Sin embargo, nuestros hallazgos no coinciden con los de McMorris et al. (2011), quienes realizaron un meta-análisis en personas que realizaban ejercicio físico de baja, moderada y alta intensidad, y su efecto en tareas de memoria de trabajo. Sus resultados no revelaron que el ejercicio tuviera algún beneficio en la memoria de los participantes. Es probable que la gran diversidad de métodos utilizados por los estudios incluidos en el meta-análisis afectara los resultados de éste para no encontrar un efecto benéfico del ejercicio. Nuestros resultados tampoco coinciden con los de otro estudio (Alves et al., 2014) en el que las personas recibieron un

entrenamiento de ejercicio de alta intensidad y flexibilidad ya que los autores reportaron que el entrenamiento no incrementó el desempeño de las personas en tareas cognitivas en comparación con un grupo que no recibió entrenamiento.

El registro del ejercicio físico por medio de un cuestionario donde se le pregunte a las personas qué tipo de ejercicio físico realizan, con qué frecuencia lo practican y cuántas horas le dedican a esta actividad, ya ha sido utilizado por otros autores (Bielak et al., 2014; Lo et al., 2014; Sabia et al., 2006; Weuve et al., 2004), al igual que en el presente estudio. A pesar de que se trata de un método no del todo confiable porque las respuestas de las personas son con base en su experiencia, capacidad de memoria y a veces sesgadas por respuesta socialmente aceptables, se prefirió este método debido a que permite evaluar el beneficio de diferentes tipos de ejercicio aeróbico. Los resultados mostraron que los beneficios encontrados no son exclusivos de cierto tipo de ejercicio físico, como ocurre en los estudios donde se manipula el tipo de ejercicio que realizan los participantes (Alves et al., 2014; Dustman et al., 1984; Nagamatsu et al., 2013; Stroth et al., 2010), sino que los beneficios se observaron en personas que realizaban una gran diversidad de actividades aeróbicas.

Los tiempos de reacción en el presente estudio no difirieron entre las personas que realizaban ejercicio y las que no lo realizaban. Este hallazgo que contradice los resultados encontrados por otros autores. Por ejemplo en un estudio (Hansen et al., 2004) se observó que las personas jóvenes que recibieron un entrenamiento de ejercicio aeróbico tuvieron menores tiempos de reacción que las personas que no recibieron el entrenamiento. Asimismo McMorris et al. (2011) encontraron que

las personas que realizaron ejercicios de intensidad moderada tuvieron menores tiempos de reacción que las personas que no recibieron ningún entrenamiento. Finalmente, Dustman et al. (1984) también observaron menores tiempos de reacción en las personas que realizaban actividad física en comparación con las que no la realizaban.

Es probable que en el presente estudio los tiempos de reacción no fueran menores en las personas que realizaban ejercicio en comparación con las que no lo realizaban porque los efectos en el porcentaje de respuestas correctas se observo en tareas de alta complejidad. Los tiempos de reacción en este tipo de tareas suelen ser muy variables, lo que pudo haber opacado las diferencias en los tiempos de reacción. Sin embargo, también es posible que el beneficio del ejercicio no tenga repercusión sobre la velocidad de conducción en el cerebro. Sabemos que el ejercicio físico ordenado, repetido y que deliberadamente exige un mayor gasto de energía propicia un aumento en los niveles de oxígeno del organismo (Dishman et al., 2006), un mejoramiento en la metabolización de la glucosa (Dishman et al., 2006; Powell et al., 2011) y una mayor producción de neurotransmisores (McMorris et al., 2011) que intervienen en las funciones cognitivas; sin embargo, se desconoce si el ejercicio tiene un efecto en la velocidad de la transmisión sináptica.

Los resultados del presente estudio revelaron que las personas que realizaban sesiones de ejercicio de mayor duración tuvieron tiempos de reacción menores en la tarea espacial de baja complejidad. Este resultado indica que los tiempos de reacción son sensibles al tiempo que se dedica al ejercicio más que a la

frecuencia. Aunque la frecuencia probablemente no influyó por su poca variabilidad, ya que sólo se incluyeron en el estudio personas que practicaran ejercicio físico por lo menos tres veces por semana y la mayoría lo hacía casi todos los días.

Los hallazgos encontrados en el presente estudio sugieren que es recomendable realizar alguna actividad que involucre el ejercicio aeróbico para que exista un mantenimiento de la memoria de trabajo en la edad media. En la realización de tal ejercicio es importante tomar en cuenta factores como la intensidad del ejercicio. Aunque en el presente estudio no se analizó la intensidad del ejercicio que realizaban las personas, otros autores (Alves et al., 2014; Bielak et al., 2014; Lo et al., 2014; Sabia et al., 2006) han observado que los individuos que realizan ejercicio intenso se desempeñan mejor en tareas de memoria. Existen diversas escalas para clasificar la intensidad del ejercicio (Bielak et al., 2014; Lo et al., 2014). En el presente estudio se observó que de acuerdo con estas escalas, la mayoría de las personas que participaron realizaban ejercicio de intensidad moderada o alta, como correr, nadar o spinning, a esto también se le puede atribuir el beneficio del ejercicio observado en el presente estudio en las tareas de memoria de alta complejidad. Asimismo, se recomienda realizar ejercicio moderado de 150 a 300 minutos a la semana o ejercicio de alta intensidad 75 minutos a la semana para observar beneficios en el sistema cardiovascular y un aumento en la eficiencia del consumo de oxígeno (Powell et al., 2011). La frecuencia con que se realiza el ejercicio es otro factor importante, los resultados del presente estudio sugieren realizarlo al menos tres veces por semana.

También el tiempo que se ha realizado el ejercicio físico influye en la cognición. Autores como Hansen et al. (2004) proponen un plan de entrenamiento de ocho semanas, Nagamatsu et al. (2013) un entrenamiento de 26 semanas y *Stroth* et al. (2010) uno de 16 semanas. Aunque hay autores como Alves et al. (2014) que proponen un entrenamiento de un solo día; sin embargo, en este estudio los efectos sobre la memoria fueron negativos, lo que fue atribuido a la fatiga causada por la actividad intensa.

En el presente estudio no fue posible realizar un análisis con personas que realizaban ejercicio anaeróbico exclusivamente porque las personas que reportaron realizarlo, normalmente también realizaban ejercicio aeróbico. Sin embargo, se sabe que el ejercicio anaeróbico no repercute en el organismo como el aeróbico, ya que el ejercicio anaeróbico no trabaja con oxígeno, y por lo tanto no aumenta la eficiencia cardio-respiratoria que llevaría a los cambios en el sistema vascular.

En México, el INEGI (García Sandoval et al., 2011) reporta que la mayor incidencia de personas inactivas se encuentra entre las mujeres de 25 a 34 años de edad; mientras que en los hombres, la mayor inactividad ocurre en promedio a los 55 años de edad. Existe en México una Guía de Actividad Física Laboral publicada por la Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte (2011) que intenta incrementar los niveles de actividad física en México. Esta guía propone que las personas que se encuentran en un ambiente laboral realicen por lo menos 15 minutos de actividad física. Para ello en la guía se describen tres fases, en la primera, de tres minutos de duración, se realiza el calentamiento que consiste en

movimientos suaves de cada articulación. En la fase central se realizan ejercicios que requieren mayor esfuerzo, los cuales deben aumentar la temperatura corporal, así como la frecuencia cardíaca y respiratoria, el tiempo para realizar esta fase es de 10 minutos. La última fase es la de relajación, consiste en regresar al estado normal del organismo mediante movimientos lentos y pausados, alternándolos con respiraciones profundas, esta fase se realiza en dos minutos. En la guía se sugiere acumular a lo largo del día 30 minutos de actividad física; si bien esta guía no está diseñada para mejorar las funciones cognitivas, la propuesta de realizar por lo menos 10 minutos de una actividad intensa aeróbica podría quizá incidir a nivel cardiovascular, aunque de forma limitada. Sin embargo, en la práctica dichas sugerencias no se llevan a cabo,

El presente estudio confirma que en la edad media, los procesos de memoria de trabajo con niveles de complejidad alto, se benefician si se realiza ejercicio al menos tres veces a la semana durante mínimo una hora. Esto ocurre porque el ejercicio incrementa la oxigenación del cuerpo, lo cual influye en la plasticidad cerebral y en los procesos de aprendizaje y memoria, indispensables para la vida.

8. Conclusiones

En el presente estudio se evaluó la memoria de trabajo verbal y espacial por medio del paradigma *n*-back en dos niveles de complejidad (1-back y 2-back) en personas de edad media que realizaban ejercicio físico y personas que no lo realizaban. En el estudio se observó que las personas que realizaban ejercicio físico aeróbico de forma regular tuvieron un mejor desempeño en las tareas de memoria de trabajo de alta complejidad, independientemente de la modalidad de

la tarea, que las personas que no realizaban ejercicio. Asimismo, se observó que entre más tiempo dedicaban a realizar ejercicio, sus tiempos de reacción en la tarea de memoria espacial de baja complejidad eran menores. Los resultados sugieren que el hábito de realizar ejercicio en la edad media puede ser un factor protector para mitigar el declive de la memoria de trabajo que ocurre en edades más avanzadas.

9. Limitaciones y sugerencias

Una limitación del estudio es el hecho de que no se tomó en cuenta el tiempo que las personas llevaban practicando el ejercicio físico, tampoco la intensidad del ejercicio. Analizar esta información sería recomendable para determinar cómo inciden estas variables en los beneficios del ejercicio sobre la memoria. Es probable, por ejemplo, que se requiera un tiempo mínimo de hacer ejercicio con regularidad para observar un cambio en la memoria. Del mismo modo, es posible que ciertos ejercicios de baja intensidad no generen cambio alguno en la memoria.

Se sugiere realizar un estudio donde se compare un grupo de personas que realice ejercicio anaeróbico con otro que realice ejercicio aeróbico con el propósito de determinar los beneficios de cada tipo de ejercicio en la memoria. Asimismo, se sugiere comparar grupos que realizan ejercicio de diferente intensidad. Otra sugerencia es pedir a los participantes que reporten en una tabla de registro diario, el tiempo exacto que realizan ejercicio, esto con el fin de evitar errores debido a juicios equivocados sobre el tiempo o a inexactitudes de la memoria.

10. Referencias

- Alves, C. R. R., Tessaro, V. H., Teixeira, L. a C., Murakava, K., Roschel, H., Gualano, B., & Takito, M. Y. (2014). Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. *Perceptual and Motor Skills*, *118*(1), 63–72. <http://doi.org/10.2466/22.06.PMS.118k10w4>
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: A Proposed System and its Control Processes. *Stanford California: Stanford University*, 92–103. [http://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](http://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Baddeley, A. (1981). The concept of working memory : A view of its current state and probable future development. *Cognition*, *10*, 17–23.
- Baddeley, A. (1996). The fractionation of working memory, *93*(November), 13468–13472.
- Baddeley, A. (1999). *Memoria humana: teoría y práctica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*, 1–29. <http://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*. Academic Press, *8*, 47–89.
- Beck, A., Ward, C., Mendelson, M., Mock, J., & Erbaug, J. (1961). An inventory for measuring depression. *Archives of General Psychiatry*, *4*, 53–63.
- Bielak, A. a M., Cherbuin, N., Bunce, D., & Anstey, K. J. (2014). Preserved differentiation between physical activity and cognitive performance across young, middle, and older adulthood over 8 years. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, *69*(4), 523–32. <http://doi.org/10.1093/geronb/gbu016>
- Boraita, A. (2004). La práctica deportiva mejora el perfil lipídico plasmático, pero ¿a cualquier intensidad? *Revista Española de Cardiología*, *57*(6), 495–498. <http://doi.org/10.1157/13062914>
- Cansino, S., Hernández-Ramos, E., Estrada-Manilla, C., Torres-Trejo, F., Martínez-Galindo, J. G., Ayala-Hernández, M., ... Rodríguez-Ortiz, M. D. (2013). The decline of verbal and visuospatial working memory across the adult life span. *Age (Dordrecht, Netherlands)*, *35*(6), 2283–302. <http://doi.org/10.1007/s11357-013-9531-1>

- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical Activity , Exercise , and Physical Fitness : Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Health Reports*, 126–131.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., ... Elavsky, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 3316–21. <http://doi.org/10.1073/pnas.0400266101>
- Dishman, R. K., Berthoud, H.-R., Booth, F. W., Cotman, C. W., Edgerton, V. R., Fleshner, M. R., ... Zigmond, M. J. (2006). Neurobiology of exercise. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 14(3), 345–356.
- Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, W., Shigeoka, J. W., ... Bradford, D. C. (1984). Aerobic Exercise Training and Improved Neuropsychological Function of Older Individuals. *Neurobiology of Aging*, 5, 35–42.
- Folstein, M., Folstein, S., & McHugh, P. (1975). “Mini mental satate” a practical method for grading the cognitive state of patientes for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(189-198).
- García Sandoval, C., Manzo García, J. de D., Robles Neri, J. J., De Anda Osorio, S., Pavlo’s Peñaloza Pérez, P., Saucedo Nieto, C., & Barrios Ayala, L. (2011). Guía de actividad física laboral. Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte. Retrieved from www.conade.gob.mx
- Guiney, H., & Machado, L. (2012). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(1), 73–86. <http://doi.org/10.3758/s13423-012-0345-4>
- Hansen, A. L., Johnsen, B. H., Sollers, J. J., Stenvik, K., & Thayer, J. F. (2004). Heart rate variability and its relation to prefrontal cognitive function: the effects of training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 93(3), 263–72. <http://doi.org/10.1007/s00421-004-1208-0>
- Hötting, K., & Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(9 Pt B), 2243–57. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.04.005>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte (CONADE). (2014). Estadísticas de práctica deportiva y ejercicio físico. http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/modulos/mopradef/doc/resultados_mopradef_feb_2014.pdf.

- Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. a, Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. a. (1993). Spatial Working-Memory in Humans As Revealed By Pet. *Nature*, 363, 623–625. <http://doi.org/10.1038/363623a0>
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55, 352–358.
- Lo, A. H. Y., Woodman, R. J., Pachana, N. a, Byrne, G. J., & Sachdev, P. S. (2014). Associations between lifestyle and cognitive function over time in women aged 40-79 years. *Journal of Alzheimer's Disease : JAD*, 39(2), 371–83. <http://doi.org/10.3233/JAD-130971>
- McEvoy, L. K., Pellouchoud, M. E., & Smith, A. G. (2001). Neurophysiological signals of working memory in normal aging *Cognitive Brain Research*. *Cognitive Brain Research*, 11(3), 363–376.
- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., & Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. *Physiology & Behavior*, 102(3-4), 421–8. <http://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.12.007>
- Müller, N. G., & Knight, R. T. (2006). The functional neuroanatomy of working memory: Contributions of human brain lesion studies. *Neuroscience*, 139(1), 51–58. <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.09.018>
- Nagamatsu, L. S., Chan, A., Davis, J. C., Beattie, B. L., Graf, P., Voss, M. W., ... Liu-ambrose, T. (2013). Physical Activity Improves Verbal and Spatial Memory in Older Adults with Probable Mild Cognitive Impairment : A 6-Month Randomized Controlled Trial. *Journal of Aging Research*, 2013.
- Nyberg, L., Forkstam, C., Petersson, K. M., Cabeza, R., & Ingvar, M. (2002). Brain imaging of human memory systems: between-systems similarities and within-system differences. *Cognitive Brain Research*, 13, 281-292 ., 13, 281–292.
- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17, 299–320. <http://doi.org/10.1037//0882-7974.17.2.299>
- Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1993). The neural correlates of the verbal component of the working memory. *Nature*, 362, 342–345.
- Pérez-Martínez, V. T. (2005). El deterioro cognitivo: una mirada previsor. *Revista Cubana Medicina General E Integral*, 21.

- Powell, K. E., Paluch, A. E., & Blair, S. N. (2011). Physical activity for health: What kind? How much? How intense? On top of what? *Annual Review of Public Health*, 32, 349–65. <http://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-031210-101151>
- Sabia, S., Nabi, H., Kivimaki, M., Shipley, M. J., Marmot, M. G., & Singh-manoux, A. (2006). Health behaviors from early to late midlife as predictors of cognitive function : The Whitehall II study. *American Journal of Epidemiology*, 1988(Phase 1), 1–11.
- Singh-Manoux, A., Kivimaki, M., Glymour, M., Elbaz, A., Berr, C., Ebmeier, K. P., ... Dugrevot, A. (2012). Timing of onset of cognitive decline: results from Whitehall II prospective cohort study. *Midlands Business Journal*, 344(January), 1–8. <http://doi.org/10.1136/bmj.d7622>
- Small, G. W., Siddarth, P., Ercoli, L. M., Chen, S. T., Merrill, D. a, & Torres-Gil, F. (2013). Healthy behavior and memory self-reports in young, middle-aged, and older adults. *International Psychogeriatrics / IPA*, 25(6), 981–9. <http://doi.org/10.1017/S1041610213000082>
- Sternberg, R. J. (2011). *Memoria: modelos y métodos de investigación. Procesos de la memoria*. (C. I. Licona & T. E. García, Eds.). México, D.F.: Cengage Learning.
- Stroth, S., Reinhardt, R. K., Thöne, J., Hille, K., Schneider, M., Härtel, S., ... Spitzer, M. (2010). Impact of aerobic exercise training on cognitive functions and affect associated to the COMT polymorphism in young adults. *Neurobiology of Learning and Memory*, 94(3), 364–372. <http://doi.org/10.1016/j.nlm.2010.08.003>
- Voss, M. W., Vivar, C., Kramer, A. F., & van Praag, H. (2013). Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(10), 525–544. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2013.08.001>
- Weschler, D. (1981). *Manual WAIS español*. México, D.F.: El manual moderno.
- Weuve, J., Kang, J. H., Manson, J. E., Breteler, M. M. B., Ware, J. H., & Grodstein, F. (2004). Physical Activity, Including Walking, and Cognitive Function in Older Women. *Yearbook of Psychiatry and Applied Mental Health*, 292, 1454–1466. [http://doi.org/10.1016/S0084-3970\(08\)70261-5](http://doi.org/10.1016/S0084-3970(08)70261-5)